

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»

Институт ИРЭ

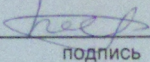
Кафедра РТС

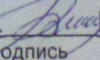
ВЫПУСКНАЯ РАБОТА

бакалавра _____ техники и технологий _____
(квалификация, присваиваемая по завершении образования)

по направлению 210400 «Радиотехника»
(номер и название)

Тема: Разработка лабораторной установки для
исследования влияния помех (ЭМС) в спутниковой
радиолинии вещательных DBS-систем

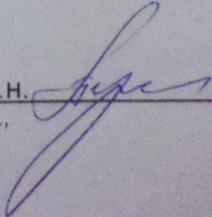
Студент ЭР-15-09  Борякин Е.А.
группа подпись фамилия, и., о.,

Научный руководитель доцент к.т.н.  Болдырев А.Р.
должность звание подпись фамилия, и., о.,

Консультант _____
должность звание подпись фамилия, и., о.,

Консультант _____
должность звание подпись фамилия, и., о.,

«Работа допущена к защите»

Зав. Кафедрой профессор д.т.н.  Перов А.И.
звание подпись фамилия, и., о.,

Дата _____

Москва

2013г.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»

Институт _____ ИРЭ _____ Кафедра _____ РТС _____

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ РАБОТУ

бакалавра _____
(квалификация, присваиваемая по завершении образования)

по направлению _____
(номер и название)

Тема: Разработка лабораторной установки для исследования влияния помех
(ЭМС) в спутниковой радиолинии вещательных DBS-систем

Студент Борякин Е.А. _____ ЭР-15-09 _____
фамилия, и., о., группа, подпись

Научный руководитель доцент к.т.н. _____ Болдырев А.Р. _____
должность, звание, фамилия, и.о., подпись

Консультант _____
должность, звание, фамилия, и.о., подпись

Консультант _____
должность, звание, фамилия, и.о., подпись

Зав. кафедрой профессор _____ Перов А.И. _____
подпись, дата

СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1) Изучение литературы по построению систем спутниковой связи вещательного типа и
определение основных характеристик(технических решений) при построении таких
систем(частотные диапазоны, типы ИСЗ; структура пакетов передачи информации;
методы модуляции и кодирования; интерфейсы)

2) Выбор основных характеристик натурального стандарта (расчет энергетических
характеристик)

3) Разработка блок-схем (схемы электрических соединений) натурального стенда, включая разработку состава планируемых экспериментов, определение спецификации элементов стенда, выпуск схемы электрических соединений, определение перечня измерительных приборов.

4) Изучение уровня временной нестабильности условий распространения радиоволн в диапазоне частот 11 ГГц для работы натурального стенда, в том числе статистическая обработка результатов экспериментальных наблюдений в реальной спутниковой радиолинии.

ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

- 1) Структурная схема систем спутниковой связи DBS-типа (включая сопряжение с наземными системами)
- 2) Расчёт энергетических характеристик стенда (для совокупности КА связи)
- 3) Схемы электрических соединений натурального стенда
- 4) Результаты статистической обработки данных об условиях приёма сигнала в диапазоне 11 ГГц

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1) Системы СС на высокоэллиптических орбитах ред. Е.Ф.Камнева Москва 2004г.
- 2) Справочник по спутниковой связи и вещанию под ред. Кантера Л.Я.- М., Радио и Связь, 1998
- 4) Пояснительная записка по бакалаврской работе Смирнова С.С., МЭИ(ТУ), 2011
- 5) Локшин Б.А. Цифровое спутниковое теле-радио вещание- М., Сайрус Системз, 2001

Примечание: задание брошюруется вместе с выпускной работой и с отзывами на нее руководителя и рецензента.

ОТЗЫВ

научного руководителя бакалаврской работы студента гр ЭР-15-09
БОРЯКИНА Е.А. «Разработка лабораторной установки для исследования
влияния помех (ЭМС) в спутниковой радиолинии вещательных DBS-систем».

Спутниковые системы телерадиовещания были и остались к 2010 г. самым массовым типом спутниковых систем – число их пользователей во всем мире составляет более 200 млн. человек. При этом ограниченность частотно-орбитального ресурса геостационарной орбиты с каждым десятилетием усиливает проблему взаимных (межсистемных) помех, в первую очередь для DBS-систем со слабнонаправленными приемными абонентскими терминалами.

В сочетании со зрелищностью и разнообразием программного контента в системах непосредственного вещания (DBS) они могут выступить хорошим примером для пояснения влияния радиотехнических систем – проявления мешающих радиосигналов (помех), дополняющих воздействие шумов. При этом хорошо проявляется особенность именно цифровых методов передачи телевизионного изображения (и/или звука), при которой изменение качества приема носит иной характер по сравнению с аналоговыми методами вещания.

Собственно абонентские установки приема цифрового спутникового телерадиовещания хорошо известны; в задачу бакалавра входило изучить принципы функционирования спутниковых систем вещания, познакомиться с особенностями технической реализации, а также предложить вариант натурального стенда на основе известного оборудования.

Борякин Е.А. в ходе работы впервые встретился с такой технологией связи, тем более – с выбором аппаратуры, а также с проведением измерений и обработкой результатов измерений. Ему пришлось изучить соответствующую литературу, в том числе – по моделям расчета энергетических характеристик спутниковой радиолинии. В основном с этой задачей он справился, получив начальный объем сведений, влияющих на выбор состава и структуру натурального стенда.

С учетом учебно-исследовательской направленности стенда в составе лабораторного практикума каф. РТС им предложено расширить круг возможных для сравнительного исследования параметров и условий приема сетей спутникового вещания за счет применения авторизованного подвеса антенны. В этом случае компромиссная по сложности установки приемная антенна 0,6-0,9 м позволит проводить поиск сигнала примерно для 140 различных сетей на дуге около 120 град при угле возвышения от 5 град и более, т.е. исследовать очень широкую область параметров/условий приема.

В целях знакомства соискателя с реальным проявлением влияния атмосферы на условия распространения радиоволн в выбранном для стенда диапазоне 11/14 ГГц он изучил действующую систему спутниковой связи VSAT-типа на основе оборудования NOC Hughes Network Systems, конкретную земную станцию на основе спутникового модема DW6000, изучил схему регистрации параметра, связанного с отношением «сигнал/шум» на входе приемника спутникового телевидения (ресивера, модема).

Важно, что соискатель лично почувствовал различие инженерного (технического) и пользовательского (коммерческого, маркетингового) подхода к описанию условий работы установки: в целях упрощения работы с клиентами зарубежные производители применяют «взвешенные» характеристики, оценивающие условия работы оборудования в рамках данной системы, но НЕ ПОЗВОЛЯЮЩИЕ провести сравнение с другими системами. К подобным параметрам относится т.н. «SQF»- параметр компании Hughes Network Systems, линейно связанный с отношением «сигнал/шум» и абсолютным уровнем принимаемого сигнала, который в пределах от 1 до 100 баллов оценивает условия приема.

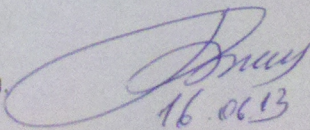
Борякин Е.А. самостоятельно построил программную обработку большого числа данных для SQF-параметра (за сутки – до 1440 точек; обработка наблюдений – три месяца) на основе пакета EXEL.

Результаты, полученные Борякиным Е.А. в результате обработки экспериментальных данных, показали хорошее совпадение с известными из литературы. При этом им зафиксировано характерно проявление (следствие) изменчивости условий приема из-за атмосферных явлений – при ухудшении условий приема одновременно СНИЖАЕТСЯ СРЕДНИЙ уровень и РАСТЕТ ДИСПЕРСИЯ соотв. величин (степень изменчивости в ухудшенных условиях увеличивается). Этот факт в широкой литературе почти не подчеркивается, поэтому предлагаемый стенд вполне поможет расширению глубины знаний у учащихся.

Интересно, что обработка параметра SQF за три месяца измерений вполне проявила нестационарный характер условий приема – фактор, который приходится учитывать проектировщику спутниковых систем.

Считаю, что работа Борякина Е.А. соответствует требованиям, предъявляемым к бакалаврским работам по направлению «техника и технологии», а сам соискатель заслуживает хорошей оценки и присвоения квалификации «бакалавр» при условии успешной защиты.

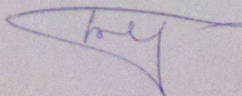
Руководитель,
Доцент каф. РТС ИРЭ, к.т.н.



16.06.13

Болдырев А.Р.

Созданная оценка



Борякин Е.А.

РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную работу бакалавра техники и технологий по направлению 210400 Радиотехника студента гр. ЭР-15-09 БОРЯКИНА Е.А., выполненную на тему: "Разработка лабораторной установки для исследования влияния помех (ЭМС) в спутниковой радиолинии вещательных DBS-систем"

Выпускная работа Борякина Е.А. посвящена созданию лабораторного стенда, на котором студентам будет предоставлена возможность исследовать прием реальных сигналов спутниковых вещательных систем на фоне шумов и помех. Эта работа продолжает серию выпускных квалификационных работ студентов, направленных на создание нового лабораторного практикума по дисциплинам направления подготовки «Системы спутниковой связи», и тема ее является актуальной.

Пояснительная записка содержит 67 стр. основного текста и приложений на 18 листах. Основной текст состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы из 4-х наименований.

В первой главе записки приведены разнообразные и полезные теоретические сведения об организации современного спутникового телевизионного вещания; терминология, используемой литературе по спутниковым системам; приведено описание некоторых позиций соответствующих стандартов и интерфейсов; обсуждаются вопросы цифрового сжатия изображений; рассмотрена типовая схема формирования потоков и сигналов, используемых в сетях цифрового телевидения.

Во второй главе приведены формулы для расчета энергетических характеристик спутниковой радиолинии. Здесь также обсуждаются вопросы, связанные с дополнительными потерями мощности сигнала при прохождении атмосферы Земли.

Третья глава содержит результаты эксперимента, проверенного автором записки, на работающем оборудовании по оценкам параметра SQF, выбранного показателем качества работы спутниковой системы. В результате прочтения материала этой главы записки рецензент делает вывод, что студент сумел найти качественные зависимости между статистическими характеристиками параметра SQF (рассчитаны математическое ожидание и дисперсия) и погодными условиями в месте приема радиосигнала. Материал приложения также относится к этой главе, хотя ссылки на приложение и комментарий к таблицам приложения в тексте не приведен.

Четвертая глава написана по результатам деятельности самого автора. Им разработана схема лабораторной установки для исследования влияния помех в действующей спутниковой радиолинии DBS типа и пояснен ее состав. Из текста записки *осталось неясным*, удалось ли подключить оборудование и работает ли лабораторная установка, а также, удалось ли при выполнении бакалаврской работы провести запланированные эксперименты.

Положительной стороной записки является большой и правильно выбранный круг вопросов, подлежащих изучению и изложению. Однако большое количество опечаток свидетельствует о невнимательности автора к изложению результатов своего исследования и к своей работе в целом.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

- в конце каждой главы желательно привести выводы;
- список литературы оформлен не в требуемом виде, в тексте сделаны ссылки на отсутствующие позиции списка;
- в тексте записки имеются опечатки, путаница с нумерацией рисунков, таблиц, ссылок на них.

Замеченные опечатки и неточности затрудняют чтение записки и снижают хорошее впечатление о проделанной работе.

Считаю, что выпускная работа студента Борякина Е.А. полностью отвечает требованиям, предъявляемым к таким работам, а ее автор – Борякин Е.А. заслуживает присвоения ему квалификации бакалавра техники и технологий по направлению подготовки 210400 РАДИОТЕХНИКА. При условии успешной защиты рекомендуемая оценка – хорошо.

Аннотация

В этой работе приводится пример расчётов и схем, необходимых для создания лабораторной установки для исследования влияния помех в спутниковой радиолинии вещательных DBS-систем. Приведены основные понятия и принципы работы DBS-систем, приведены основные энергетические расчёты, выполнена статистическая обработка параметра SQF, и представлена схема самой лабораторной установки.

Annotation

This work is an example of the calculations and schemes, which are needed for building a laboratory installation and studying an interferences in satellite radio broadcasting DBS-systems. There are basic concepts and principles of the DBS-systems, main energy calculations, statistical analysis of the parameter SQF and a diagram of the laboratory setup itself in this work.

Введение

Широкое распространение спутниковых систем связи для целей телерадиовещания в мире привело в настоящее время к появлению значительного числа космических аппаратов связи (искусственных спутников Земли) на геостационарной орбите. При этом пространственный разнос между ИСЗ продолжает уменьшаться. В сочетании с ограниченностью ширины радиоспектра, выделенного для целей спутникового телерадиовещания, а также с ростом общего количества программ вещания, данный фактор является источником взаимных помех между различными системами вещания. Возможности ограничить такие помехи за счет увеличения направленности (избирательности) антенн приемных наземных станций ограничены – для пользователей удобны в эксплуатации антенны малого диаметра (для диапазона Ku – это 0,45-0,9 м, в зависимости от вида системы и географического положения земной станции относительно подспутниковой точки).

В работе рассматривается возможность создания натурального (действующего в реальных сетях спутникового телевидения) стенда для измерения степени взаимных помех между отдельными системами (межсистемные помехи), а также для сравнения влияния на качество телевизионного сигнала межсистемных помех и внешних и внутренних шумов, применимого в учебно-исследовательских задачах.

В первой главе приведены сведения о современных системах спутникового телевидения, в первую очередь – системам непосредственного вещания (DBS по принятому англоязычному обозначению), включая методы формирования цифровых потоков данных из стандартного растрового телевизионного сигнала на основе кодирования MPEG2, MPEG4. Даны пояснения о видах сигналов и методах помехоустойчивого кодирования, применяемых в стандартах спутникового вещания DVB-S/S2.

В главе два описан выбор (расчет) параметров натурального стенда, связанных с энергетическими соотношениями в спутниковой радиолинии телевидения – к ним

относятся размер антенны, шумовые параметры приемника. Показано, что для существующих массовых приемников-конвертеров спутникового приема с определенным уровнем собственных шумов для стенда целесообразно использовать антенну с размером 0,6 - 0,9 м. При выборе размера антенны необходимо учитывать характеристики гидрометеорных явлений в точке размещения стенда – г. Москва.

В главе четыре содержится описание общей схемы электрических соединений натурального стенда, включая состав используемого оборудования. Предложено включить в стенд моторизованный антенный подвес, что обеспечит возможность проведения измерений с большим числом спутниковых систем телевидения, работающих в стандарте DVB-S/S2.

Глава три посвящена результатам изучения влияния нестабильности условий распространения радиоволн в диапазоне 11/14 ГГц, близком к диапазону частот приема сигналов спутникового телевидения. Для регистрации параметров приема была использована действующая система спутниковой связи на основе оборудования Hughes Network Systems, контрольная земная станция которой располагалась в г. Москве, аналогично создаваемому стенду. Для контроля условий приема и передачи регистрировался так называемый «маркетинговый» параметр SQF, связанный с отношением «сигнал/шум» в точке приема и уровнем принимаемого сигнала на входе демодулятора приемника. Приведены результаты обработки зарегистрированных параметров для различных интервалов времени наблюдения – от нескольких минут до 3 месяцев.

В приложениях два и четыре приведены результаты обработки данных и примеры файлов (текстовая форма) регистрации параметров приема.

Задание на бакалаврскую работу выполнено в полном объеме.

Глава 1. Организация спутникового теле-радиовещания.

1.1. Принципы построения спутниковых систем связи

Сегодня растут потребности в телекоммуникациях. Наземные радиорелейные линии не могут в полной мере удовлетворить обмен радиовещательных и телевизионных программ, особенно если они сильно удалены друг от друга. Заметное влияние на распространение радиоволн оказывает рельеф местности, так например горы могут вызывать как ослабление сигнала так и его усиление, а граница воды и суши может вызывать "береговую рефракцию" (то есть изменение амплитуды и направления электрического поля). Нельзя так же забывать об особенностях распространения электромагнитной волны вдоль поверхности Земли: в случае когда антенна передающей станции находится недостаточно высоко над поверхностью земли, происходит отражение электромагнитной волны от поверхности Земли, а это означает, что в точке приёма будет происходить интерференция двух волн (распространяющейся по прямой линии от передающей станции до приёмной и отражённой от поверхности Земли), которая усложняет приём сигнала. От этих недостатков свободны спутниковые системы связи (ССС). Они могут ретранслировать сигналы с высоты в десятки тысяч километров. СССР обладают высокой пропускной способностью и позволяют обеспечить экономичную круглосуточную связь между любыми конечными пунктами, обмен радиовещательными и телевизионными программами, одновременную работу без взаимных помех большого числа линий.

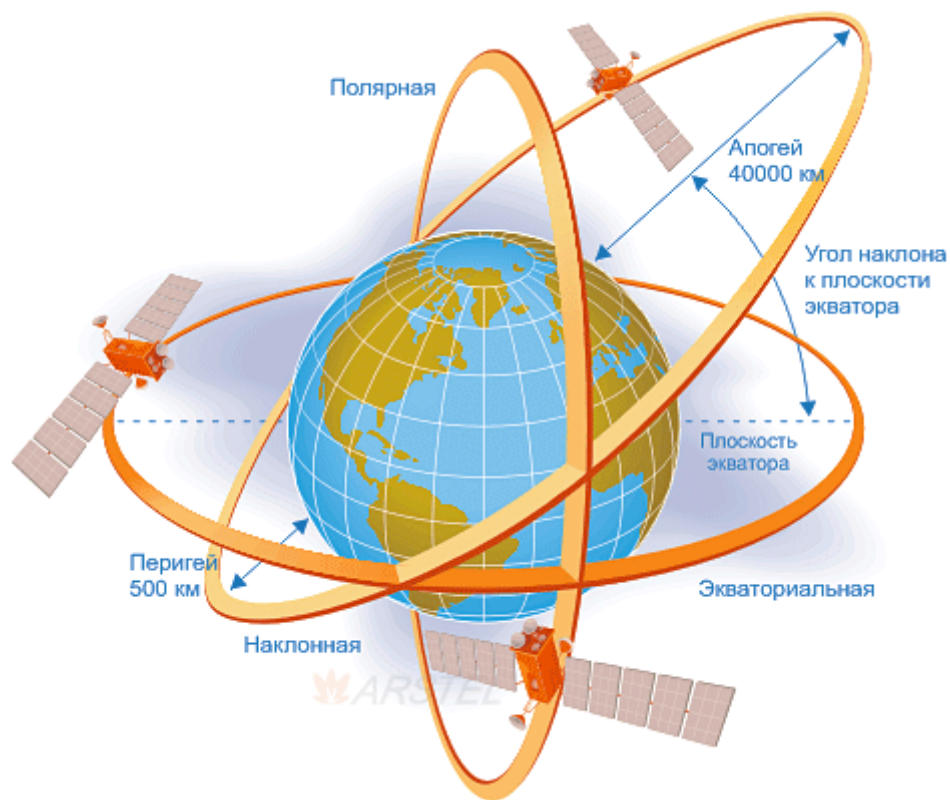


Рисунок 1.1. Типы орбит КА

Основная идея создания систем спутниковой связи проста. Она заключается в размещении промежуточного ретранслятора системы связи на искусственном спутнике Земли (ИСЗ). Спутник движется по достаточно высокой орбите длительное время без затрат энергии на это движение. Энергоснабжение бортового ретранслятора и других систем ИСЗ осуществляется от солнечных батарей, работающих почти все время под лучами ничем не затемненного Солнца.

На достаточно высокой орбите ИСЗ «видит» очень большую территорию — около одной трети поверхности Земли, поэтому через его бортовой ретранслятор могут непосредственно связываться любые станции, находящиеся на этой территории. Трех ИСЗ может быть достаточно для создания почти глобальной системы связи. В то же время современные технические средства позволяют создать достаточно узкий луч, чтобы при необходимости сконцентрировать энергию передатчика ИСЗ на ограниченной площади, например на территории

небольшого государства. Это создает возможность эффективно использовать ИСЗ для обслуживания небольших зон. [1] Принцип спутниковой связи заключается в ретрансляции аппаратурой спутника сигнала от передающих наземных станций к приёмникам.

Значительные преимущества предоставляет использование КА, расположенного на так называемой геостационарной орбите, находящейся в плоскости экватора и имеющей нулевое наклонение круговой орбиты (Рисунок 1) с радиусом 35785 км. Такой спутник совершает один оборот вокруг Земли точно за одни земные сутки. Если направление его движения совпадает с направлением вращения Земли, то с поверхности Земли он кажется неподвижным.

Ни при каком другом сочетании указанных параметров орбиты нельзя добиться неподвижности КА относительно наземного наблюдателя. Антенны станций, работающих с геостационарным спутником, не требуют сложных систем наведения и сопровождения, а в случае необходимости могут быть установлены устройства для компенсации небольших возмущений орбиты.

Благодаря этому обстоятельству в настоящее время почти все спутники связи, предназначенные для коммерческого использования, находятся на геостационарной орбите. Примерно в одной позиции на одной географической долготе могут находиться несколько КА, расположенных на расстоянии около 100 км друг от друга.

Спутниковая линия связи с ретранслятором на геостационарной орбите имеет ряд серьезных преимуществ:

1. Отсутствие устройства сопровождения КА в антенной системе наземного комплекса
2. Высокая стабильность уровня сигнала в радиоканале.
3. Отсутствие эффекта Доплера.
4. Простота организации связи в глобальном масштабе.

Недостатками такой линии связи являются перенасыщенность геостационарной орбиты на многих участках, а также невозможность обслуживания приполярных областей.

Вблизи полюсов геостационарный КА виден под малым углом места, а у самых полюсов не виден вообще. Ввиду малости угла места происходит затенение спутника местными предметами, увеличение шумовой температуры антенны за счет тепловых шумов Земли, повышение уровня помех от наземных радиотехнических средств. Уже на широте 75° прием затруднителен, а выше 80° — почти невозможен. Однако в широтном поясе от 80° ю.ш. до 80° с.ш. проживает практически все население Земли.[2]

1.2. Системы спутниковой связи. Основные определения

Основная идея создания систем спутниковой связи заключается в размещении промежуточного ретранслятора на искусственном спутнике Земли (ИСЗ). Одним из основных понятий является *зоны видимости* ИСЗ, под которым следует понимать часть поверхности Земли, с которой ИСЗ виден под углом места больше некоторой минимально допустимой величины (например, 5°) в течение заданной длительности сеанса связи; под *мгновенной зоной* видимости понимается зона видимости в определенный момент, т. е. при нулевой длительности сеанса связи. При движении ИСЗ мгновенная зона перемещается, и поэтому зона видимости в течение сеанса некоторой длительности всегда меньше мгновенной, так как представляет собой внутреннюю огибающую мгновенных зон. Важнейшей характеристикой системы спутниковой связи является зона покрытия — часть зоны видимости, в которой обеспечиваются необходимые энергетические соотношения на линии связи при определенных энергетических параметрах земной станции. Эта характеристика имеет важное значение при проектировании систем спутниковой связи и анализе взаимодействия между ними. Если пренебречь энергетическими соотношениями на участке линии связи Земля— спутник, т. е. не учитывать влияния диаграммы направленности

приемной антенны ИСЗ, то тогда зона покрытия ИСЗ определяется как территория, в каждой точке которой угол места при направлении антенны ЗС на спутник не менее минимально допустимого и плотность потока мощности, создаваемого передатчиком ИСЗ, не ниже требуемой. На практике часто энергетический баланс на участке Земля— спутник не является определяющим, поскольку соответствующим увеличением мощности передатчика ЗС можно достичь необходимого уровня сигнала на входе приемника ИСЗ. Если диаграммы направленности бортовых антенн ИСЗ на прием и передачу достаточно широки, чтобы охватить всю видимую с ИСЗ часть Земли при малой неравномерности усиления, то зона покрытия совпадает с зоной видимости — это так называемая глобальная зона покрытия. Трех ИСЗ может быть достаточно для создания почти глобальной системы связи. В то же время современные технические средства позволяют создать достаточно узкий луч, чтобы при необходимости сконцентрировать энергию передатчика ИСЗ на ограниченной площади, например на территории небольшого государства. Это создает возможность эффективно использовать ИСЗ для обслуживания небольших зон.

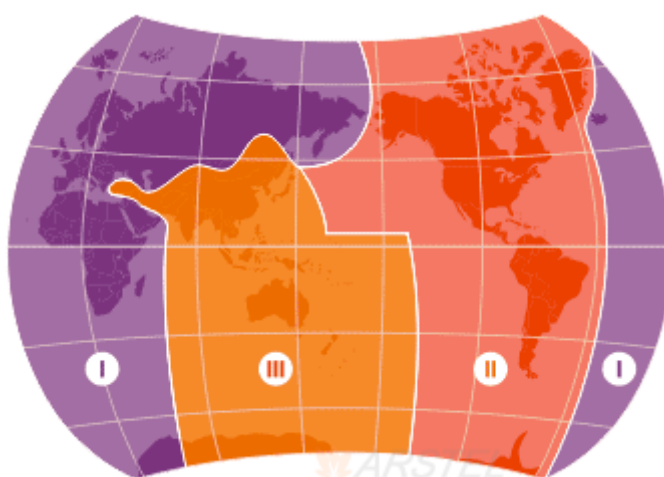


Рисунок 1.2. Районы спутникового вещания

Часть территории, которую необходимо охватить вещанием при заданном уровне сигнала, называют зоной обслуживания. Ее вид и размеры зависят от диаграммы направленности передающей антенны спутника-ретранслятора.

Несмотря на то, что антенна всегда направлена в точку прицеливания – за ней следят специальные устройства – зона обслуживания имеет сложную геометрическую форму.

Для приближенного построения зоны покрытия и для ориентировочного решения обратной задачи — выбора необходимых характеристик диаграммы направленности бортовых антенн геостационарного ИСЗ — можно воспользоваться представлением поверхности Земли так, как она видна с геостационарного ИСЗ. Для этого следует ввести сферическую систему координат, начало которой совмещено с точкой S расположения ИСЗ (рис. 3; P — северный полюс Земли; O — центр Земли). Положение некоторой точки N на земной поверхности в этой системе координат определяется только значениями углов (β_1 и β_2 (см. рис. 3), где β_1 — угол между плоскостями SOP и SAN (или, что то же самое, между прямыми SO и SA , лежащими в плоскости экватора); β_2 — угол между направлением от ИСЗ на точку N и плоскостью экватора (т. е. угол между прямыми SN и SA); NA — перпендикуляр к плоскости экватора из точки N

Углы β_1 и β_2 могут быть определены по следующим формулам :

$$\beta_2 = \arctg[R \sin(\varphi) / l]; \beta_1 = \arcsin[(R \cos(\varphi) \sin \Delta \lambda) / l]; 1.1$$

где l — длина линии SA ; φ — широта точки N , $\Delta \lambda$, — разница долготы точки N и ИСЗ (проекция ИСЗ на земную поверхность] R - радиус Земли; r — радиус геостационарной орбиты (SO); $d=SN$ - наклонная дальность для точки N .

По формулам (1.1) все меридианы и параллели могут быть представлены в координатах β_1 и β_2 .

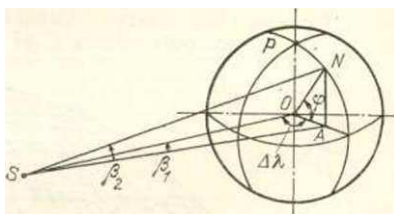


Рисунок 1.3

В спутниковом телевидении уровень излучаемого с космического аппарата сигнала принято характеризовать произведением мощности (в Ваттах) подводимого к антенне сигнала на коэффициент ее усиления (в дециБелах) относительно изотропного (всенаправленного) излучателя. Эту характеристику называют эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ) и измеряют в дециБелах на Ватт. Уровень сигнала в точке приема определяется плотностью потока мощности у поверхности Земли относительно потока мощности 1Вт, проходящего через 1м^2 (дБВт/м²).

В 1977 году состоялась Всемирная административная радиоконференция по планированию радиовещательной спутниковой службы, на которой был принят ныне действующий Регламент радиосвязи. В соответствии с ним земной шар разделен на три района, для вещания на каждый из которых выделены свои полосы частот. Как видно из Рисунка 4, Россия и страны СНГ входят в Район 1.

В Регламенте указаны полосы частот метрового и дециметрового диапазонов, в которых работают радиопередающие средства телевизионного вещания.[1]

Таблица 1.1. Полосы частот систем спутникового вещания

Наименование диапазона	Полоса частот, ГГц
L - диапазон	1,452 - 1,550 и 1,61 - 1,71
S - диапазон	1,93-2,70
C - диапазон	3,40-5,25 и 5,725-7,075
X - диапазон	7,25-8,40
Ku - диапазон	10,70-12,75 и 12,75-14,80
Ka - диапазон	15,4-26,5 и 27,0-50,2
K - диапазон	84-86

Для систем спутникового вещания выделены полосы частот, представленные в табл. 1.1. . Однако вещание спутниковых телепрограмм в этих диапазонах позволит значительно уменьшить диаметр приемных антенн. Например, если

антенны Ku-диапазона (10,70 — 12,75 ГГц) имеют характерные размеры 0,5 — 1,5 м, то антенны K-диапазона (84 — 86 ГГц) при том же значении коэффициента усиления будут иметь размеры 0,10 — 0,15 м. Кроме того, информационная емкость этих диапазонов значительно выше. Под информационной емкостью понимается количество телевизионных каналов, которые можно разместить в данном диапазоне частот.[2]

Основная проблема в освоении этих диапазонов — экономическая, а именно – проблема создания недорогих массовых индивидуальных приемников. Поэтому наибольшее распространение получили телевизионные спутниковые вещательные системы фиксированного типа, работающие в Ku диапазоне. Небольшой размер пользовательского терминала (размеры "тарелки" обычно 0.6-0.9м), малые мощности необходимые для его использования(мощность антенн измеряется ваттами), простота в настройке и управлении позволяют установить его практически для любого пользователя. И к настоящему времени количество пользовательских терминалов исчисляется миллионами.

В достаточной степени изучены различные свойства таких систем, в том числе и устойчивость сигнала к атмосферным шумам. Однако исследование устойчивости телевизионного спутникового сигнала к помехам, схожим по типу с самим сигналом, представляет определённый интерес. Такое исследование позволит определить не только частотный интервал, на котором можно располагать соседние сигналы, но так же и степень допустимого искажения сигнала и, возможно, способы минимизации последствий такого влияния.

Однако для выполнения данного исследования необходим значительный временной ресурс, поэтому в данной работе рассматривается только разработка схемы натурного стенда, для проведения подобного рода исследований.

1.3 Принципы организации систем спутникового вещания

Космическая радиосвязь — радиосвязь, при которой используют космические станции, расположенные на ИСЗ или других космических объектах.

Космическая станция (КС)—станция, расположенная на объекте, который находится за пределами основной части атмосферы Земли, например на ИСЗ.

Земная станция (ЗС) — станция радиосвязи, расположенная на земной поверхности (или в основной части земной атмосферы) и предназначенная для связи с космическими станциями либо с другими земными станциями через космические станции или другие космические объекты, например пассивные (отражательные) ИСЗ. В отличие от этих станций станции наземных систем радиосвязи, не относящихся к космическим системам связи или радиоастрономии, называют *наземными станциями*.

Спутниковая связь — связь между земными станциями через космические станции или пассивные ИСЗ. Таким образом, спутниковая связь является частным случаем космической радиосвязи.

Спутниковая линия — линия связи между земными станциями с помощью одного ИСЗ, включает в себя участок Земля — спутник и участок спутник — Земля (линия вниз).

Земные станции соединяются с узлами коммутации сети связи (например, с междугородной телефонной станцией), с источниками и потребителями программ телевидения, звукового вещания с помощью наземных соединительных линий.

Спутниковое вещание — передача радиовещательных программ (телевизионных и звуковых) от передающих земных станций к приемным через космическую станцию — активный ретранслятор. Таким образом, спутниковое вещание — это частный случай спутниковой связи, отличающийся передачей определенного класса односторонних (симплексных) сообщений, принимаемых од-

новременно несколькими ЗС либо большим числом приемных станций (циркулярная передача).

В зависимости от типа земных станций и назначения системы различают следующие службы радиосвязи:

фиксированная спутниковая служба (ФСС) — служба радиосвязи между ЗС, расположенными в определенных, фиксированных, пунктах, при использовании одного или нескольких спутников; к фиксированной спутниковой службе относят также *фидерные линии (линии подачи программ на космическую станцию)* для других служб космической радиосвязи, например для радиовещательной спутниковой;

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

радиовещательная спутниковая служба — служба радиосвязи, в которой сигналы космических станций предназначены для *непосредственного приема* населением. При этом непосредственным считается как *индивидуальный*, так и *коллективный прием*; в последнем случае программа вещания доставляется индивидуальным абонентам с помощью той или иной наземной системы распределения— кабельной или эфирной — передатчиком небольшой мощности. Заметим, что термин «радиовещание» включает в себя как телевизионное, так и звуковое вещание. Определенная таким образом радиовещательная спутниковая служба включает в себя не все виды систем спутникового вещания, а только те из них, которые предназначены для приема на сравнительно простые и недорогие приемные установки с качеством, достаточным для абонента, но часто более низким, чем это требуется от магистральных линий подачи программ на наземные вещательные станции.[1]

Спутниковое телевизионное вещание — это передача через космический спутник-ретранслятор телевизионного изображения и звукового сопровождения

от наземных передающих станций к приемным. В сочетании с кабельными сетями, спутниковая телевизионная ретрансляция сегодня является основным средством обеспечения многопрограммного высококачественного телевизионного вещания.

В зависимости от организации, спутниковое ТВ-вещание может подразделяться на два подтипа::

1. Распределительное спутниковое ТВ-вещание, при котором передаваемые через КА телевизионные сигналы принимаются с высоким качеством наземными станциями, расположенными в зафиксированных заранее пунктах, а к индивидуальным потребителям ТВ-сигнал подается через наземные сети (кабельные; эфирные; MMDS-типа и иные) (рис. 2.1).

2. Непосредственное спутниковое ТВ-вещание (в англоязычной литературе DBS), при котором ретранслируемые КА телевизионные сигналы предназначены для непосредственного приема населением (непосредственным считается индивидуальный прием в пределах отдельного домохозяйства) (рис. 2.2).



Рисунок 1.4.1
Ретрансляция
спутниковых сигналов



Рисунок 1.4.2. Непосредственное
телевизионное вещание

Большое распространение получили относительно простые и недорогие установки с антеннами небольших размеров для непосредственного приема телевизионных сигналов со спутников. Система спутникового телевизионного вещания включает в себя следующие подсистемы:

- Передающий телевизионный центр, находящийся на ЗС.

- Бортовой ретранслятор, входящий в состав ИСЗ
- Приемное оборудование.

Пример организации сети цифрового вещания показан на Рисунке 1.5

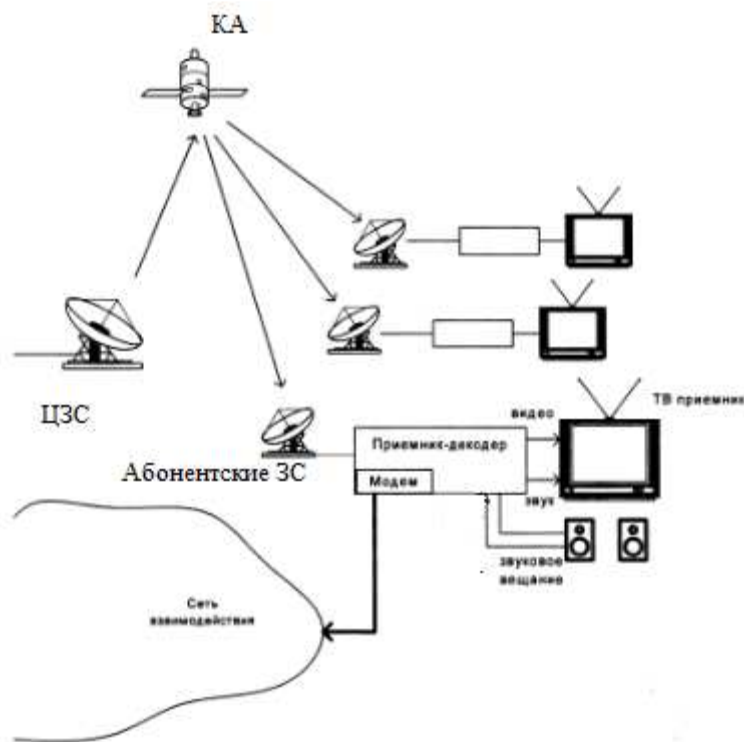


Рисунок 1.5. Типовая конфигурация сети цифрового вещания[1]

Из рисунка 1.5 видно, что в приёмное оборудование входит абонентская ЗС, приёмник-декодер (модем), ТВ приёмник. Стоит отметить что на рисунке не отображена та часть, где формируются и подготавливаются к передаче в спутниковой радиолинии ТВ программы. Подобную схему приведём на Рисунке 1.8.

Основные элементы сети: комплекс подготовки программ (студии, аппаратные видеозаписи, аппаратные выпуска программ), передающий центр, средства передачи (в данном случае — стволы спутникового ретранслятора), приемная сеть, каналы взаимодействия интерактивной сети, технические средства провайдера интерактивных услуг, оборудование условного доступа.

Для лучшего понимания процессов происходящих в сети спутникового телевидения, необходимо уяснить, с каким именно сигналом работает система DBS-типа, откуда он берётся, каким преобразованиям подвергается и как доходит до конечного потребителя.

1.4 Характеристики аналогового видеосигнала

Приведем вкратце основные сведения о телевизионном изображении и аналоговом видеосигнале.

Телевизионным изображением называют отображение пространственных и временных изменений яркости, цвета и других физических параметров исходного изображения на конечной площади, обычно прямоугольной. В общем случае изображение можно представить в трехмерной системе координат, где функции пространственных координат x, y описывают изменения параметров в плоскости экрана в фиксированный момент времени, а временная ось t отображает процесс во времени. Точка изображения, характеризующаяся определенным набором координат (x, y, t) , вместе с ее малой окрестностью называется элементом изображения, или отсчетом.

Для преобразования изображения в одномерную функцию времени применяют развертку — быстрое сканирование (обычно по горизонтали слева направо со смещением по вертикали сверху вниз) электронным лучом плоскости изображения за время одного кадра ($1/25 - 1/30$ с), меньшее периода мерцания, различимого глазом. Развертка может быть прогрессивной, когда строки сканируются подряд, или чересстрочной, когда сканируются сначала нечетные, затем четные строки, образуя два полукадра, называемые полями. Развертка дискретизирует изображение только в вертикальном направлении, в горизонтальном сигнал остается аналоговым. Получившийся видеосигнал описывает изменение какого-либо параметра, например, яркости изображения в зависимости от времени. Для передачи по вещательным каналам к нему добавляют сигналы цветности, синхронизации, вводят звуковое сопровождение,

телетекст и т.д. Чтобы телевизионный приемник смог правильно воспринять эти сигналы и преобразовать их в изображение и звук, все параметры сигналов должны быть унифицированы, стандартизованы.

Стандартизацией занимается целый ряд международных организаций, области деятельности которых частично перекрываются. Наиболее общие стандарты, охватывающие широкие области применения, разрабатывает Международная организация стандартизации: МОС (ISO в англоязычном написании), зачастую совместно со своими органами Международной электротехнической комиссией МЭК (IEC), Международной свето-технической комиссией МСК (СIE) и другими. В частности, МОС разработала и приняла стандарты цифрового сжатия телевизионных сигналов семейства MPEG.

Регламентацию международной деятельности в области электросвязи осуществляет Международный союз электросвязи МСЭ (ITU) через свои подразделения: сектор радиосвязи МСЭ-Р, сектор стандартизации связи МСЭ-Т и др. МСЭ принимает *Рекомендации*, являющиеся обязательными документами для его членов.

В России действуют общенациональные стандарты — ГОСТы, которые в основных положениях соответствуют международным стандартам. Некоторые новые области деятельности, по которым ГОСТы еще не разработаны, могут регулироваться промежуточными документами. Например, в области цифрового вещания действуют «Временные нормы на цифровую передачу ТВ сигналов стандартного качества по спутниковым каналам»

Стандартом ТВ сигнала называют совокупность определяющих его основных характеристик, таких как способ разложения изображения, число строк и кадров, формат кадра, длительность и форма синхронизирующих и гасящих импульсов, полярность сигнала, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения, метод представления и кодирования цветовой информации (компонентный или композитный) и др. По способу передачи сигналов цветности различают три системы цветного телевидения: SECAM, PAL, NTSC.

Информация о яркости и цвете объекта в телевидении передается сочетанием трех основных цветов — красного (R), зеленого (G), синего (B). Первоначально цветовые видеосигналы формируются в виде компонентных RGB-сигналов, но при дальнейшей обработке для обеспечения совместимости с черно-белым телевидением переходят к другому набору компонентных сигналов — яркостному и двум цветоразностным, получаемым из сигналов RGB путем матрицирования. С учетом пониженной разрешающей способности цветового восприятия человеческого глаза полосу частот цветоразностных сигналов выбирают вдвое меньше полосы сигнала яркости. Для целей наземного вещания используются композитные сигналы NTSC, PAL и SECAM, в которых сигнал цветности объединяется тем или иным способом с сигналом яркости, совместимым с монохромным телевидением, для передачи в одном частотном канале. В системах NTSC и PAL цветоразностные сигналы передаются методом квадратурной модуляции соответствующей поднесущей частоты, в системе SECAM используется метод частотной модуляции двух поднесущих 4.206 и 4.43 МГц.

Процесс аналого-цифрового преобразования в ИКМ-сигнал (импульсно-кодовый модулированный сигнал) состоит из трех этапов: дискретизации, квантования и кодирования квантованных отсчетов. В применении к телевизионному изображению дискретизация производится в два этапа: сначала благодаря развертке плоскость изображения дискретизируется в вертикальном направлении, затем полученный одномерный сигнал дискретизируется во времени, давая последовательность отсчетов, соответствующих отдельным элементам изображения. Поскольку элемент изображения, имеет конечные размеры, значение отсчета определяется путем взвешивающего усреднения уровня сигнала в малой окрестности точки (x, y) В качестве взвешивающей функции часто выбирают функцию Гаусса. Этот процесс эквивалентен *предфильтрации*. При восстановлении изображения осуществляется интерполяция значения отсчета на область пиксела, что эквивалентно *постфильтрации*.

Дискретизация представляет собой по сути умножение аналогового сигнала на дискретизирующую функцию, т.е. модуляцию, в результате которой возникают многократно повторяющиеся боковые полосы частот. Если частота дискретизации более чем вдвое превышает высшую частоту спектра видеосигнала, между видеосигналом и ближайшей сверху полосой оказывается частотный промежуток, позволяющий разделить эти сигналы. Если соотношение $f_d > 2F_v$ (F_v — верхняя частота сообщения) не выполняется, возникает наложение спектров, приводящее к искажениям. Второе важное соображение, которое необходимо учитывать — частота дискретизации должна быть целым кратным от частоты строк, чтобы на периоде строки помещалось целое число отсчетов сигнала. С учетом этих соображений в Рекомендации МСЭ-Р ВТ.601, описывающей студийный стандарт компонентного цифрового видеосигнала, выбраны полоса частот сигнала яркости 5,75 МГц и частота дискретизации для этого сигнала 13,5 МГц. Эта частота равна 858 гармонике строчной частоты 15 625 Гц

Для цветоразностных сигналов выбрана частота дискретизации 6,75 МГц. По аналогии с аналого-цифровым преобразованием композитных сигналов PAL и NTSC, где частота дискретизации выбиралась равной учетверенной частоте цифровой поднесущей, частоту 13,5 МГц также называют «четверкой», а частоту 6,75 МГц «двойкой». Таким образом, полный цифровой компонентный видеосигнал из Рекомендации ВТ.601 описывается формулой «4:2:2». Компоненты его называются Y , C_b , C_R и связаны с исходными Y , $R-Y$, $B-Y$ следующими соотношениями:

$$Y = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B;$$

$$C_R = 0,713 (R-Y);$$

$$C_b = 0,564 (B-Y).$$

Отсчеты размещаются в поле изображения. Здесь отсчеты C_b и C_R совпадают по горизонтали с нечетными отсчетами сигнала яркости. Общее число отсчетов в цифровой строке составляет 1440, в том числе 720 отсчетов яркости и по 360 —

каждого из цветоразностных сигналов. Когда к Рекомендации ВТ.601 добавили часть "В", описывающую формат изображения 16:9, частоту дискретизации для этого сигнала пришлось увеличить в 4/3 раз, до 18 МГц.

1.5. ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ В ТЕЛЕВИДЕНИИ

1.5.1. Параллельный цифровой интерфейс

Цифровым *интерфейсом*, или стыком, называется точка соединения двух приборов, в которой данные передаются от одного прибора к другому. Чтобы обеспечить быстрое и надежное соединение без подстройки параметров, оба прибора должны соответствовать единым требованиям к точке стыка. В интерфейсах как ни в какой другой области цифровой техники важна стандартизация.

Соединение может быть однонаправленным, или *симплексным*, когда данные передаются только в одном направлении, и двунаправленным, или *дуплексным*, когда передача данных происходит в обоих направлениях. Возможна еще полудуплексная работа, когда данные передаются в обоих направлениях, но не одновременно, а с разделением по времени. Понятно, что сигналы реального времени (телевидение, звуковое вещание) могут передаваться только в симплексном режиме.

Для описания любого цифрового интерфейса необходимо указать: а) протокол обмена данными; б) электрические сигналы — напряжения, токи, входные и выходные сопротивления; в) физическое соединение вид соединителя (штыревой или гнездный), крепление, тип кабеля.

Поток цифровых данных, сформированный каналным передатчиком, не содержит каких-либо сведений об адресате, содержании и характеристиках кодирования сообщения. Принять его можно, только зная заранее указанные характеристики и настроив на них приемник. Если часть передачи по каким-либо

причинам не принята, нужно предусмотреть возможность сообщить об этом отправителю и запросить повторение поврежденного сообщения. Эти проблемы разрешает протокол — стандартизованная процедура установления, поддержания и прекращения цифрового соединения, определяющая процедуру передачи управляющей информации и данных, механизм выбора указанной процедуры из списка возможных, структуру и способ кодирования блоков данных.

При выбранной частоте дискретизации 13,5 МГц и стандарте разложения 625 строк на периоде строки укладываются 864 периода, из которых для передачи полезных данных используются только 720, называемые *активной частью строки*. Начало цифровой строки совпадает с серединой переднего фронта строчного синхроимпульса. Чтобы передать 720 отсчетов сигнала яркости и по 360 отсчетов сигналов C_B и C_R , тактовая частота выбирается равной 27 МГц (для формата сигнала 16:9 частота дискретизации 18 МГц и тактовая частота 36 МГц). Отсчеты передаются в коде БВН в следующем порядке: C_B, Y, C_R, Y, \dots . В старой версии стандарта разрядность квантования составляла 8 бит, и была предусмотрена возможность добавления двух младших разрядов после запятой. В ныне действующей 10-битовой версии по каналу всегда передаются 10 битов, и в случае 8-битового сигнала последние два бита обнуляются. Из общего числа 1024 уровня для передачи непосредственно отсчетов видеосигнала яркости используются 877 (с 64-го по 940-й), запас сохраняется как допуск на отклонения размаха исходного сигнала и выбросы фильтров. Сигналы цветности передаются в пределах 897 уровней, центрированных относительно среднего уровня 512.

Момент начала передачи данных отмечается специальным сигналом «Начало активной строки» (SAV — Start of Active Video), в конце блока данных передается сигнал «Конец активной строки» (EAV End of Active Video). Каждый из сигналов содержит 4 символа, в том числе 1 символ единиц, два символа нулей (уровни квантования соответственно 1024 и 0, не используемые для видеоданных) и информационный символ, указывающий на тип сигнала и перемежение. Распознавание синхросигналов производится по 8 старшим битам. В стандарте

525 строк число циклов несколько меньше, но активная часть строки содержит те же 720 периодов, и формат передачи данных одинаков.

Компонентный цифровой сигнал «4:2:2» содержит 10 отдельных битовых потоков, которые передаются по отдельным парам многожильного кабеля специальной конструкции. По отдельной паре передаются сигналы тактовой синхронизации, еще несколько проводов используются для экранирования и заземления. Максимальная длина кабеля без коррекции амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) 50 м, с коррекцией — не более 300 м, номинальный импеданс нагрузки составляет 110 Ом. Синхронизация осуществляется нарастающим фронтом тактового импульса, который должен соответствовать середине бита данных. Стандартом предусмотрено использование субминиатюрного 25-контактного соединителя D-типа, штыревого со стороны кабеля и гнездного со стороны прибора..

Существующие интерфейсы:

- -DVB-SPI (Synchronous Parallel Interface — синхронный параллельный интерфейс), разработан на основе компонентного параллельного стыка специально для передачи транспортного потока MPEG-2.
- -RS422
- - M2P

RS422 имеет статус «рекомендованного стандарта» (RS Recommended Standard), т.е. он не принят ни одним уполномоченным органом, поэтому разные производители оборудования по-разному трактуют некоторые его параметры. Обычно в стандартах группы RS нормированы электрические и электромеханические параметры, но не регламентированы жестко форматы

передачи данных и протоколы стыка. В RS422 передача осуществляется по балансным линиям, дифференциальное напряжение составляет от 2 до 7 В, используются такие же миниатюрные соединители с 25 контактами.

Интерфейс M2P разработан и применяется компанией Harmonic (бывш. DiviCom), он использует тактовые, информационные и вспомогательные сигналы, аналогичные SPI, но уровни сигналов соответствуют RS422, а считывание данных производится по заднему фронту тактовых импульсов.

1.5.2. Последовательный цифровой интерфейс

При последовательной передаче, тактовая частота отдельно не передается, а выделяется на приеме из полезных данных. В наиболее распространенном последовательном интерфейсе SDI (Serial Digital Interface — последовательный цифровой интерфейс), описанном в Рекомендации ВТ.656 и стандарте SMPTE-259М в качестве исходного используется цифровой компонентный сигнал «4:2:2» в параллельном формате.

Интерфейс SDI широко используется для соединения различных устройств в пределах здания и между близко расположенными зданиями. Такой сигнал легко коммутировать, корректировать, контролировать. Соединение осуществляется по 75-омному коаксиальному кабелю с помощью простых и очень надежных соединителей BNC, обеспечивающих хорошее согласование в полосе частот до 600 МГц. С 75-омным кабелем можно использовать как 75-омные с тонким центральным проводником, так и 50-омные соединители BNC, обладающие большей механической прочностью, необходимо только следить, чтобы затухание несогласованности не падало ниже 15 дБ.

К недостаткам SDI можно отнести чувствительность к фазовому дрожанию. Оно измеряется в долях тактового интервала (ТИ), который для компонентного SDI сигнала составляет $1/270$ МГц = 3,7 нс. Низкочастотные (ниже 10 Гц)

отклонения фронтов импульсов от номинальных временных позиций иногда называют *качанием* (wander) или *дрейфом* (drift), они в меньшей степени влияют на процесс синхронизации, так как стробирующий (тактовый) сигнал претерпевает те же смещения, что и стробируемая сигнальная последовательность. В области частот выше 10 Гц различают фазовое дрожание двух типов — *общее дрожание* (timing jitter) как абсолютное смещение фронтов относительно номинала, и *высокочастотное дрожание*, или дрожание синхронизации (alignment jitter) — смещение фронтов импульсов относительно выделенного из сигнальной последовательности сигнала тактовой частоты. Нижняя частотная граница высокочастотного дрожания определяется полосой пропускания фильтра в цепи АПЧ. Рекомендация МСЭ-Р ВТ. 1363 устанавливает для общего дрожания допустимое значение 0,2 ТИ (рассматривается возможность увеличения нормы до 1 ТИ) и для высокочастотного дрожания не более 0,2 ТИ (740 пс). Увеличение высокочастотного дрожания свыше допустимого приводит к нарушению синхронизации и при приближении к 1500 пс к ее полному срыву. Синхронный последовательный интерфейс RS422 также является «рекомендованным стандартом», но, в отличие от RS232, опирается на стандартизованный МСЭ электрический стык V.11. Передача осуществляется по балансной линии в дуплексном или полудуплексном режиме, разностное напряжение амплитудой от 2 до 6 В одной полярности соответствует логической «1», противоположной полярности логическому «0». Максимальная скорость передачи данных 10 Мбит/с может поддерживаться на расстоянии до 15 м, со скоростью 100 кбит/с можно работать при длине кабеля до 1200 м. Предельная чувствительность приемника 200 мВ. В качестве соединителя может использоваться 9-контактный или 25-контактный разъем D-типа.

Последовательный интерфейс M2S, предложенный в свое время компанией DiviCom (ныне Harmonic), применялся только в аппаратуре этой компании и сейчас практически вышел из употребления. Используя коаксиальную линию и

тактовую частоту 270 Мбит/с, он допускает скорость передачи полезных данных до 108 Мбит/с.

1.6 Методы цифрового сжатия

Целью *цифрового сжатия* (называемого также *цифровой компрессией*) является сокращение объема информации, описывающей телевизионное изображение, без заметного для глаза ухудшения его качества. Обработка сообщения перед подачей в канал связи называется *кодированием источника*. Сокращение возможно благодаря значительной информационной избыточности, заключенной в видеосигнале, и свойствам человеческого зрения, не воспринимающего отдельные детали изображения. Интерес для передачи по каналу представляет информация, существенная для получателя и статистически не избыточная. Устранение несущественной части является необратимым процессом, который характеризуется потерей информации, в отличие от исключения статистической избыточности, не связанного с потерей информации. В цифровом вещании используются обе группы методов.

Методы сокращения статистической избыточности не дают сжатие более 3:1. В компьютерной технике для архивации данных давно используется кодирование LZW (Lempel-Ziv-Welch — Лемпеля-Зива-Уэлша), не приводящее к потере информации и пригодное для сжатия данных любого рода. Кодирование начинается с построения кодового дерева из коротких блоков входного потока данных. Затем проверяется, содержат ли последующие блоки данных кодовые слова из дерева. Если да, то строятся новые кодовые слова как комбинация существующих и посылаются только их адреса. Такое построение кодовых слов от кодовых слов приводит к сжатию длинных последовательностей до коротких адресов. Метод требует громоздких расчетов и не применяется в цифровом телевидении.

К этой же группе кодов, сжимающих без потери информации, относятся коды с переменной длиной кодового слова (VLC Variable Length Coding) и самый

известный из них код Хаффмана. Он присваивает словам с наибольшей вероятностью появления короткие кодовые комбинации, а более редким символам более длинные (по этому же принципу построена азбука Морзе).

К группе энтропийных относится и так называемый *арифметический* код. Процедура кодирования состоит в том, что всей совокупности символов сообщения ставится в соответствие интервал $[0, 1]$, который разбивается на участки, соответствующие исходным вероятностям символов, и это разбиение сообщается декодеру. После поступления очередного символа интервал пересчитывается на новые пределы, соответствующие вероятности появления этого символа, и вновь разбивается пропорционально исходным вероятностям. С поступлением каждого нового символа размер интервала уменьшается, причем в строгом соответствии с вероятностями символов. Более часто встречающиеся символы меньше сужают интервал, чем редкие, и добавляют меньше битов в код интервала. По окончании цикла кодирования формируется некоторый, весьма узкий интервал, однозначно характеризующий передаваемую последовательность символов, и она легко может быть восстановлена в декодере по любому числу из этого интервала.

Кодированием длин серий (RLC Run Length Coding) называется присвоение длинным непрерывным последовательностям одинаковых битов отдельных кодовых слов. Этот метод эффективен, при дискретно-косинусном преобразовании, когда значительная часть коэффициентов принимает нулевые значения.

Техника сжатия телевизионных изображений традиционно развивалась по пути дифференциальных методов, базирующихся на структуре телевизионного сигнала. Первый шаг в сокращении избыточности был сделан, когда заметили, что можно передавать по каналу не сами элементы изображения цифровые отсчеты видеосигнала, а разность между соседними элементами в строке, в соседних строках и в смежных кадрах (метод дифференциальной ИКМ ДИКМ). При вычислении разности происходит процесс декорреляции, так что разностные элементы содержат меньше информации и могут передаваться с меньшей

разрядностью. Разновидностью ДИКМ является *кодирование с межкадровым предсказанием*, при котором по каналу передается разница между текущим кадром и кадром, предсказанным в кодере по одному или нескольким предшествующим кадрам. При хорошем предсказании эта разница значительно меньше, чем различие между двумя последовательными кадрами.

Мощным средством сокращения избыточности является *кодирование с преобразованием*, при котором набор статистически зависимых отсчетов изображения во временной области преобразуется в набор независимых коэффициентов в спектральной области. Разложение производится по ортогональным базисным функциям, различным для разных преобразований. При удачном выборе вида преобразования энергия в спектральной области сосредоточивается вблизи низкочастотных компонент спектра, а коэффициенты в высокочастотной области оказываются малыми или вообще нулевыми.

К наиболее широко распространенным и глубоко исследованным относятся дискретное преобразование Фурье (ДПФ), преобразования Уолша-Адамара, Хаара, косинусное, синусное и наклонное. Для этих видов преобразования существуют алгоритмы быстрых вычислений, позволяющие заметно сократить объем вычислительной работы. Например, для ДПФ изображения с числом элементов $N \times N$ алгоритм быстрого преобразования Фурье позволяет вместо N умножений и N^4 сложений обойтись $2N^2 \log_2 N$ сложениями. Серьезный недостаток ДПФ — большая среднеквадратическая ошибка. По совокупности показателей наилучшим преобразованием оказывается дискретно-косинусное преобразование (ДКП).

Дальнейшее сокращение избыточности получается благодаря переходу от поэлементного к групповому преобразованию, когда ТВ изображение разбивается на большие или меньшие участки и производится кодирование сразу группы элементов, составляющих участок. Все используемые сегодня преобразования работают по принципу группового кодирования.

К *гибридным* методам относят кодирование одновременно с предсказанием и преобразованием, именно к этой группе относятся алгоритмы, используемые в столь популярном сегодня стандарте MPEG-2, который мы детально рассмотрим в главе 1.7.1.

Все перечисленные методы не приводят к необратимой потере информации. Такая потеря наступает при квантовании, сопровождающемся, как мы знаем, неустранимой ошибкой. Эффективность квантования зависит от того, как подготовлена информация и насколько грубое квантование можно применить, не ухудшив субъективного восприятия изображения. Квантование является составной частью многих алгоритмов с потерей информации, применяемых в технике цифрового сжатия изображений и обеспечивающих коэффициент сжатия от 3:1 до 100:1. Один из таких алгоритмов — полосное кодирование. Входной сигнал разделяется набором m цифровых полосовых фильтров и прореживается в m раз, так что точность отображения сохраняется. Каждый полосный сигнал кодирует часть частотного спектра. Если применить квантование с адаптивным распределением битов, учитывающим долю энергии сигнала в данной полосе, можно добиться существенного сжатия видеоданных.

Еще одно перспективное направление цифрового сжатия, нашедшее воплощение в стандарте MPEG-4, оперирует с такими понятиями, как контур и текстура. Контурами называются резкие перепады яркости изображения. Текстура определяется как «все то в изображении, что не является контуром». Применяя эффективные методы кодирования отдельно для контуров и текстуры, можно получить очень высокую степень сжатия.

1.7 Некоторые действующие стандарты цифрового сжатия

Разработанные в конце 80-х годов эффективные методы цифрового сжатия изображений, описанные выше, вызвали к жизни большое число схем обработки, сочетающих различные методы и направленных на решение разных задач. Часть

этих схем была принята стандартизирующими органами и получила статус международных стандартов. Рассмотрим наиболее эффективные из них, послужившие базой для стандартов семейства MPEG.

В 1982-1990 годах группой экспертов по кодированию неподвижных изображений (Joint Photographic Expert Group), образованной совместно МОС, МЭК и МСЭ, был разработан и затем принят одноименный стандарт кодирования неподвижных изображений. Основной задачей было поставлено сокращение необходимого объема данных для передачи высококачественного изображения (до 0,25 бит /пикс, для «различимого» изображения, 1 бит/пикс, для «отличного» качества и 4 бит/пикс, для «неотличимого» от оригинала, при исходной точности квантования 8 бит/пикс.).

В ходе исследований были опробованы многие алгоритмы цифрового сжатия и выбрано ДКП как обеспечивающее наилучшее качество при минимальной скорости цифрового потока. В стандарте JPEG впервые были введены технические решения, вошедшие затем в последующие стандарты: обработка не исходных цветных, а матрицированных сигналов яркости и цветоразностных сигналов, прореживание последних вдвое до формата «4:2:0», выбор размера блоков ДКП 8 x 8 пикс, зигзагообразное сканирование коэффициентов, раздельное квантование постоянной составляющей и остальных коэффициентов ДКП, энтропийное кодирование. По понятным причинам отсутствовала только компенсация движения.

Следующий представляющий интерес стандарт под названием H.261 был разработан в 1988-90 гг. предшественником нынешнего МСЭ-Т Международным консультативным комитетом по телеграфии и телефонии. Стандарт предназначался для передачи видеоизображений (видеотелефония, видеоконференции) со скоростями их 64 кбит/с, формат изображения не мог превышать CIF. В этом стандарте уже использовалось кодирование с предсказанием и два типа кадров: I- и P-кадры. Предсказание движения осуществлялось сравнением с предшествующим кадром, в качестве критерия

сопряжения был принят минимум абсолютной ошибки. Начальное окно поиска составляло прямоугольный участок размером 64 x 48 пикс., поиск мог осуществляться одним из трех способов: 1) полным перебором всей области поиска (медленный способ); 2) путем последовательного сужения окна, пока не достигалась требуемая точность сопряжения; 3) иерархической оценкой движения, при которой формируются несколько последовательных версий опорного и текущего кадров со все более низким разрешением, ищется наилучшее согласование в версии с самым низким разрешением и пересчитывается к исходному уровню путем последовательной модификации векторов перемещения. Как и в современных стандартах, макроблок размером 16 x 16 пикс., содержал 4 блока отсчетов сигнала яркости и по одному блоку цветоразностных сигналов.

Стандарты H.261 и JPEG легли в основу разработки MPEG-1.

Работа в этом направлении была продолжена, и в 1996 г. МСЭ-Т принял для тех же применений стандарт H.263, более приспособленный для низкоскоростного кодирования. В этом стандарте поддерживаются форматы от SQCIF до 16CIF (1408 x 1152 пикс.), присутствуют все три вида кадров I, P и B, область поиска сопряжения не ограничена, точность сопряжения 0,5 пикс. К основным улучшениям по сравнению с H.261 относятся: неограниченный диапазон изменения векторов перемещения (на границе они могут указывать за пределы области изображения), арифметическое кодирование квантованных коэффициентов ДКП, улучшенное предсказание (предсказываются 4 блока векторов 8 x 8 вместо одного размерностью 16 x 16 пикселей), кодирование P-кадров (последовательные P- и B-кадр могут кодироваться вместе как один P-кадр). Кодек H.263 вышел за границы скорости 64 кбит/с и стал кодеком широкого применения для низкоскоростного кодирования. Отметим, что стандарт H.263+ использовался при разработке визуальной части стандарта MPEG-4.

1.7.1 MPEG-2

MPEG-2 был принят как международный стандарт под номером ISO/IEC 13818 в 1996 г. и дополнен в 1997 г. Коротко его можно охарактеризовать как MPEG-1 со значительными улучшениями, включающими обработку чересстрочных изображений, набор уровней и профилей, масштабируемый синтаксис, системный уровень с программным и транспортным потоками, новые средства кодирования звука и ряд других. На самом деле MPEG-2 значительно сложнее своего предшественника. Достаточно сказать, что при равной скорости потока кодер MPEG-2 примерно на 50% сложнее кодера MPEG-1. Успех MPEG-2 в значительной мере определил и прекращение работ над стандартом MPEG-3, предназначавшимся для систем ТВЧ. Оказалось, что синтаксис MPEG-2 пригоден для высоких разрешений, больших скоростей и полных компонентных сигналов без прореживания, а потому может использоваться и для ТВЧ.

MPEG-2 определяет два типа ДКП для макроблоков: кадровое и полевое. *Кадровое ДКП* действует аналогично MPEG-1: блок отсчетов яркости 16 x 16 пикселей, разбивается на 4 блока 8 x 8 пикселей, в соответствии с их расположением. *Полевое ДКП* берет 8 строк из верхнего поля для верхних двух блоков и 8 строк из нижнего поля для нижних блоков, образуя верхнее и нижнее поля макроблока; цветоразностные блоки предполагаются принадлежащими всегда к верхнему полю. Полевое ДКП более эффективно при существенном различии между полями, например, при наличии движения по вертикали. Кадровое ДКП позволяет лучше передать мелкие детали изображения. Заметим, что оба вида преобразования могут использоваться в одной видеопоследовательности. Кадры, кодируемые как два поля, всегда используют полевое ДКП, кадровое кодирование может использовать оба вида ДКП, переходя от одного к другому на уровне макроблока.

MPEG-2 ввел новый режим компенсации движения для эффективного устранения временной избыточности между полями, названный «Двухступен-

чатая компенсация с уточнением векторов» (Dual prime motion compensation). В данном режиме ищутся вектор перемещения для области изображения 16 x 8 пикселей, из одного поля и дополнительный вектор приращения (принимающий значения минус 1, 0, 1 по осям x и y) для той же области, но в поле другой четности. В декодере вектор приращения используется для уточнения отсчетов предсказанного блока.

Стандарт MPEG-2 предлагает две конструкции многокомпонентного цифрового потока. Более простой *программный поток* (ПП) почти точно совпадает с системным потоком MPEG-1 (в последнем несколько отличается формат и отсутствует сигнализация) и используется для распространения программного материала с переменной скоростью цифрового потока в среде без ошибок (запись на магнитные и оптические носители, передача по линиям на расстояние в единицы метров и т.д.). Структура ПП включает пакеты (pack), содержащие один или несколько PES пакетов и заголовок со *ссылкой на системные часы* (SCR — System Clock Reference). В потоке может быть до 16 видео и до 32 звуковых потоков, но все они считаются компонентами одной программы, так как имеют общую временную базу (единый генератор тактовой частоты).

Транспортный поток (ТП) представляет собой более высокий уровень организации данных. В ТП пакетированные элементарные потоки, принадлежащие разным программам, переносятся в различных транспортных пакетах небольшой длины, снабженных кодозащитой для передачи в каналах с ошибками, в частности, для вещания. Один транспортный поток может переносить несколько программ, не связанных единой временной базой, каждая из нескольких компонентов. Передача оказывается, по сути дела, асинхронной и потому не может управляться единым синхронизирующим сигналом.

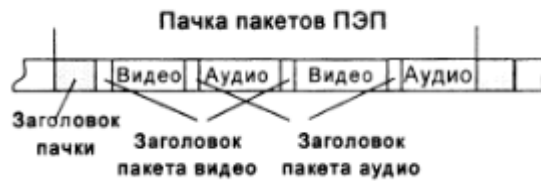


Рисунок 1.6. Структура программного потока MPEG-2

Пакеты ТП имеют фиксированную длину 188 байт, из которых 4 байта выделяются на заголовок и 184 байта — на полезные данные. Это могут быть видео- или звукоданные, данные пользователя или пустые байты (1111 1111), называемые *стаффингом*. Каждый пакет переносит данные только одного вида.

Первый байт — байт синхронизации содержит зарезервированное кодовое число 0x47, легко опознаваемое демультимплексором. Далее идут три однобитовых флага (ошибки передачи, начала пакета ПЭП и приоритетной передачи) и 13-битовый идентификатор типа пакета PID (Packet Identifier), указывающий на принадлежность пакета тому или иному потоку данных. PID служит основным признаком, по которому демультимплексор сортирует приходящие пакеты на приемной стороне. Из общего числа 8192 возможных значений PID 16 выделены на общесистемные цели, номер 8191 (0 x 1FFF) закреплен за стаффинговыми байтами, остальные могут назначаться пользователями произвольно для отдельных компонент своих программ.

Передача информации пакетами фиксированной длины и система идентификаторов имеют свои преимущества. Пропускная способность в этом случае используется в максимальной степени и может динамически перераспределяться между программами. Можно добавлять новые ПЭП или удалять ненужные, не меняя в целом структуру потока. Для извлечения необходимой информации декодеру не нужно знать детальную структуру всего

потока, достаточно указать только PID, который всегда находится в заголовке на одном и том же месте.

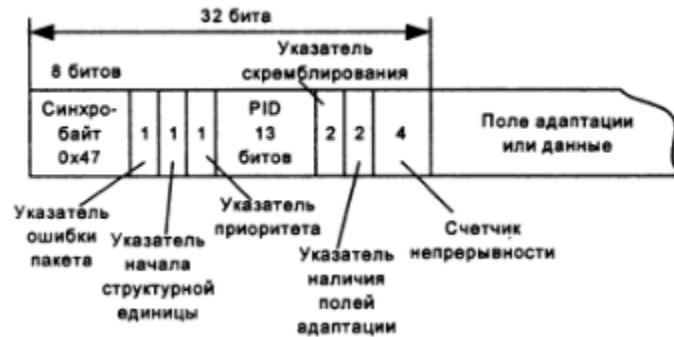


Рисунок 1.7. структура заголовка пакета транспортного потока MPEG-2

1.7.2 MPEG-4

Стандарт MPEG-4 базируется на трех китах: 1) цифровое телевидение; 2) интерактивные графические приложения; 3) интерактивные мультимедийные приложения. Тенденция последних лет сближение, слияние этих источников аудиовизуальной информации, появление новых источников как натурального, так и синтезированного *контента* (содержания). До недавнего времени в вещании преобладала концепция «телевидения» программа готовилась в студии и передавалась как периодическая последовательность строк изображения и сопутствующих звуков. Все усовершенствования, включая появление цифрового вещания и стандарта MPEG-2, не изменили эту концепцию в корне, хотя добавили к ней некоторые новые аспекты — многопрограммность, подписку, дополнительные услуги, зачатки интерактивности. Однако похоже на то, что сейчас традиционная концепция телевидения не удовлетворяет уже пользователей аудиовизуальных услуг. Зрители хотят иметь доступ к видео- и аудиопрограммам, как они уже имеют доступ к мультимедийному контенту через Интернет и World Wide Web — «Всемирную паутину».

Основное отличие MPEG-4 от ранее принятых стандартов — объектно ориентированное представление медиа-информации. В стандарте вводится

ключевое понятие *медиа-объекта* единицы звукового, визуального или аудиовизуального контента. Любая сцена разделяется на объекты, которые соотносятся в пространстве и времени и описываются отдельными элементарными потоками (ЭП). Объекты могут быть натуральными — записанными с видеокамеры или микрофона, и синтетическими — синтезированными в компьютере. Такой подход имеет ряд преимуществ: более экономно расходуются биты для описания сцены, отдельные объекты легко использовать в других сценах, упрощается построение масштабируемых объектов и взаимодействие с объектами, появляются широкие возможности взаимодействия пользователя с выбранным объектом, например, вывод дополнительной информации об объекте, изменение его параметров (цвета, текстуры, громкости звучания или языка), исключение объекта из сцены, создание пользователем новых сцен из объектов, полученных от разных источников или хранящихся в памяти терминала. Все эти операции требуют лишь изменить описание сцены, а это вполне под силу процессору абонентского терминала.

Для описания сцены и ее динамического изменения в MPEG-4 используется специально разработанный двоичный язык BIFS (Binary Format for Scenes двоичный формат описания сцен). Описание сцены указывает декодеру, где и когда воспроизводить объекты, входящие в сцену, и как реагировать на воздействие пользователя. Чтобы увязать ЭП с медиа-объектами в сцене, используются дескрипторы объекта. Они переносят информацию о числе и свойствах ЭП, связанных с конкретными медиа-объектами. Сами дескрипторы также переносятся в одном или нескольких ЭП, поэтому нетрудно добавить или удалить объект во время сеанса. Потоки дескрипторов могут рассматриваться как описания потоковых ресурсов для представления, а описание сцены служит для изменения пространственно-временного размещения объектов в сцене. MPEG-4 определил специальный язык *синтаксических' описаний* для точного описания синтаксиса потоков, переносящих информацию о медиа-объектах и описания

сцен. Он представляет собой расширение языка C++ и позволяет дать точное описание синтаксиса и в то же время упростить проверку на соответствие.

BIFS оперирует двумя протоколами модификации сцены во времени командным (BIFS-Command) и анимационным (BIFS-Anim). Командные потоки BIFS позволяют загружать новую сцену, изменять свойства объектов, вводить и уничтожать объекты. Потоки BIFS-Anim управляют процессами анимации сцены, например, изменением точки взгляда, перемещением, трансформацией размера, плавным изменением цвета, освещенности и т.д. Синхронизация потоков осуществляется путем временной привязки. Как и в предыдущих стандартах MPEG, один вид временной метки обеспечивает синхронизацию тактовых частот кодера и декодера, метки другого вида, привязанные к функциональным единицам аудиовизуальных данных, содержат желаемое время декодирования (для единиц доступа) или время завершения компоновки (для компоновочных единиц).

Новая версия BIFS предусматривает анимацию фигуры, улучшенную модель направленности источника звука, модель окружающей звуковой среды в интерактивной виртуальной сцене, учитывающую отражение звука от стен помещения (реверберацию, эффект Допплера, наличие препятствия между источником звука и пользователем), введение иерархических 3D сеток.

Средства представления натурального видео в MPEG-4 обеспечивают стандартизованную технологию обработки, хранения и передачи текстуры, изображений и видео для мультимедийных применений. В отличие от MPEG-2, где вся сцена раскладывалась до пиксела и затем осуществлялось однородное кодирование всего изображения, в MPEG-4 сцена разбивается на видеообъекты, для каждого объекта описываются его форма, текстура, местоположение, оптические характеристики (яркость, цвет, положение светотени), параметры движения — перемещение, вращение, изменение масштаба, данные кодируются со сжатием, упаковываются в отдельные ЭП (по несколько потоков на каждый

объект), мультиплексируются и передаются декодеру. Визуальная сцена может состоять из одного или нескольких объектов. Каждый объект характеризуется пространственной и временной информацией в виде формы, текстуры и движения. Для некоторых приложений введение понятия визуального объекта оказывается неоправданно сложным, для них MPEG-4 допускает кодирование прямоугольными кадрами, которые представляют собой вырожденный случай объекта произвольной формы.

Пользователь может восстановить сцену в ее исходном виде, а может произвести определенные манипуляции — исключить часть объектов или ввести новые, изменить точку взгляда, масштаб, цвет и т.д. Разумеется, пользователь может внести только те изменения, которые предусмотрел автор.

Стандарт обработки визуальных объектов поддерживает широкий диапазон изменения входных параметров видеопоследовательности. Развертка может быть прогрессивной и чересстрочной, пространственное разрешение по яркости — от 8 x 8 до 2048 x 2048 пикс. (SQCIF, QCIF, CIF, 4CIF, Рек. ВТ.601); в цветовом пространстве допускаются сигналы монохромный и Y, C_B, C_R ; пространственное разрешение по цветности «4:0:0», «4:2:0» и «4:2:2» (только в студийном профиле); частота кадров может изменяться от 0 до 30 Гц и более, причем может меняться от кадра к кадру; разрядность квантования — 8 бит с возможностью изменения от 4 до 12 бит. Нетрудно убедиться, что возможности выбора параметров значительно шире, чем даже в MPEG-2

1.8 Цифровые интерфейсы MPEG-2

В стандарте CENELEC и документе DVB A010 специфицированы три вида интерфейсов: синхронный параллельный (SPI — Synchronous Parallel Interface), синхронный последовательный (SSI Synchronous Serial Interface) и асинхронный

последовательный (ASI — Asynchronous Serial Interface), причем второй и третий существуют в разновидностях для коаксиального (С) и оптического (О) кабеля.

Наиболее распространенным интерфейсом для транспортного потока на сегодняшний день является асинхронный последовательный интерфейс ASI, в котором скорость передачи данных постоянна и не зависит от скорости источника. Поддержание постоянства скорости обеспечивается введением при необходимости стаффинговых байтов. Скорость 270 Мбит/с должна поддерживаться постоянной в довольно жестких пределах: $\pm 10^{-4} * 270$ Мбит/с. Код не инвариантен к логическому инвертированию передаваемых битов, поэтому изменение полярности сигналов недопустимо. Коаксиальный вариант интерфейса работает по коаксиальному 75-омному кабелю с соединителями BNC, затухание несогласованности 15 дБ в полосе 5...270 МГц, максимальное время нарастания/спада импульса от 20 до 80% не более 1,2 нс, допустимое фазовое дрожание не должно составлять более 10% от длительности импульса, или 0,37 нс. Номинальное выходное напряжение передатчика составляет 800 мВ \pm 10%, на входе приемника амплитуда сигнала должна поддерживаться в пределах 200...880 мВ. В оптическом интерфейсе ASI рекомендовано использование волокна диаметром 62,5/ 125 мкм по стандарту IEC 793-2 с соединителями типа SC, работающего в диапазоне длин волн 1280... 1380 нм, время нарастания/спада импульса не должно превышать соответственно 2 и 2,2 нс, фазовое дрожание не более 16% (примерно 600 пс). На приеме время нарастания/спада может возрасти до 3 нс, максимальное перекрываемое расстояние определяется мощностью оптического передатчика, чувствительностью приемника и погонным затуханием кабеля, вполне реально без регенерации перекрыть расстояние 45-50 км.

1.9 Типовая конфигурация сети цифрового вещания

Подготовленные ТВ программы в формате SDI поступают на вход аппаратуры цифровой компрессии, обеспечивающей сжатие информации и формирование

цифровых транспортных потоков. Это важнейший комплекс сети цифрового вещания, от устойчивой работы которого в значительной степени зависят качество и надежность работы всей сети. Видеоданные поступают на вход видеокодера, звукоданные — на вход звукового кодера сжатия. В большинстве конструкций звуковой кодер является составной частью видеокодера, хотя имеются технические решения и с отдельным звуковым кодером. Для повышения надежности кодеры сжатия обеспечиваются «горячим» резервом с автоматическим переключением на резервный комплект. Обычно предусматривается один, реже два резервных кодера на комплект из 6...8 рабочих, обеспечивающих работу в стволе спутникового ретранслятора.

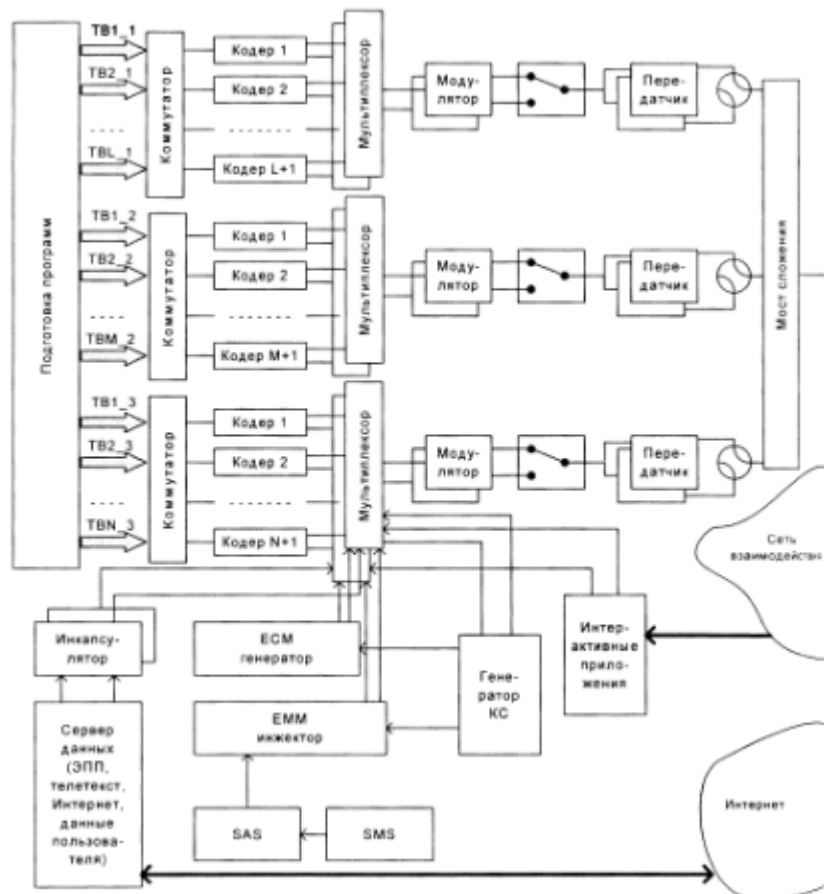


Рисунок 1.8

Итак, сжатые сигналы поступили на вход мультиплексора. Здесь формируется суммарный транспортный поток, в который, кроме звуковых и видеосигналов, включаются также множество дополнительных сигналов, например таких как: дополнительные данные пользователя, сигналы прямого канала взаимодействия интерактивной системы и др. Данные пользователя обычно поступают в формате IP и переводятся в формат транспортного потока (чаще всего DVB-ASI) в инкапсуляторе. Последний может размещаться вблизи мультиплексора или связываться с мультиплексором соединительной линией, допускающей прохождение сигналов в формате ASI (150...250 м для коаксиального кабеля или 20...40 км для оптической линии). Обратные каналы от абонентов замыкаются на провайдера интерактивных услуг, которым может быть как компания-вещатель, так и другая организация. В частном случае спутникового Интернета это может быть Интернет-провайдер, а инкапсулятор для ввода информации из Интернета в транспортный поток может находиться как у Интернет-провайдера, так и на передающем центре.

Транспортный поток MPEG-2 с выхода мультиплексора поступает на DVB модулятор, где осуществляется помехоустойчивое кодирование и модуляция сигнала ПЧ. Где бы ни находилась аппаратура цифровой компрессии, модулятор всегда расположен вблизи передатчика, так как связан с ним радиочастотным интерфейсом, не допускающим удаления более чем на несколько десятков метров. Требования надежности диктуют резервирование модулятора и передатчика. Возможны несколько способов резервирования, показанных на рис. 11.2. Выбор между схемами рис. 11.2а и 11.2б зависит от построения системы контроля и управления станцией и от надежности переключателей. Схема (б) более экономична, так как содержит только один переключатель. На многоствольных станциях иногда в целях экономии применяют резервирование модуляторов и передатчиков.

Сигнал, излученный антенной передающего центра в сторону спутника, ретранслируется им обратно и принимается антеннами абонентов. После

усиления в малошумящем конверторе и преобразования на высокую ПЧ сигнал поступает в приемник-декодер, который выполняет функции выделения и обработки цифрового сигнала. С выхода приемника-декодера аналоговый сигнал в одном из общепринятых форматов цветности PAL, SECAM или NTSC поступает на вход ТВ приемника (по радиоканалу на антенный вход или в виде видеосигнала и тонального сигнала звукового сопровождения — на соответствующие низкочастотные входы). С внедрением полностью цифровых ТВ приемников функции обработки будут постепенно передаваться от отдельного приемника-декодера к модулю, встроенному в ТВ приемник. Это позволит в дальнейшем исключить аналоговый интерфейс на выходе MPEG декодера и доводить до экрана полное цифровое качество изображения.

Глава 2. Расчёт энергетических характеристик спутниковой радиолинии (DBS) в диапазоне 11/18 и 20/30 ГГц

2.1 Необходимые пояснения для модели спутниковой радиолинии.

Расчёт энергетических характеристик радиолинии является обязательной частью работы, так как на этом расчёте будет основываться выбор того или иного оборудования, подходящего под характеристики, полученные при расчёте. Далее будет описан подход к расчёту спутниковой радиолинии DBS-типа и приведены конкретные примеры.

Линии спутниковой связи, как правило, состоят из двух участков: Земля - спутник и спутник — Земля. Для начала рассмотрим один участок, спутник - Земля.

Рассмотрим линию связи, состоящую из приёмника и передатчика.

Для удобства восприятия можно воспользоваться блок-схемой, изображённой на Рисунке 2.1.

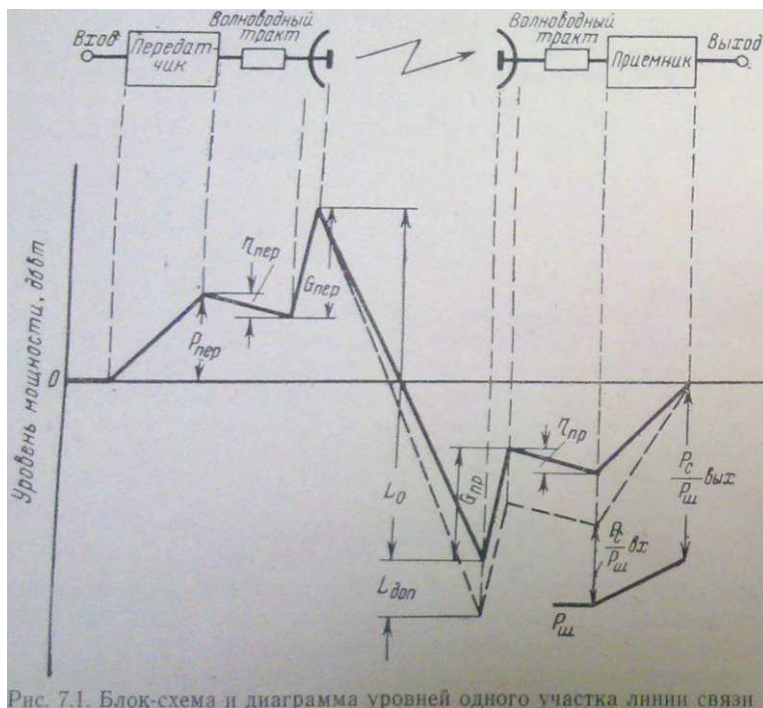


Рисунок 2.1

Передатчик развивает на выходе эффективную мощность $P_{\text{пер}}$ на частоте f . Этот сигнал, проходя через антенно-волноводный тракт, имеющий коэффициент передачи мощности $\eta_{\text{пер}}$, поступает в антенну и излучается в эфир. Способность передающей антенны концентрировать излучаемую энергию в определенном направлении характеризуется ее коэффициентом усиления $G_{\text{пер}}$ по сравнению с ненаправленным (изотропным) излучателем. Таким образом, эффективная мощность сигнала, излучаемая передающей антенной в заданном направлении равна

$$P_{\text{изл}} = P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} G_{\text{пер}}$$

Эффективное значение напряженности электромагнитного поля E_0 на расстоянии d от передатчика при распространении в *свободном* пространстве

$$E_0 = \frac{\sqrt{30 P_{\text{изл}}}}{d}$$

а *затухание* энергии в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя,

$$L_0 = \frac{16\pi^2 d^2}{\lambda^2}$$

Кроме этих основных потерь, на трассе неизбежно присутствуют дополнительные потери, обусловленные затуханием энергии в атмосфере

В точке приема установлена антенна с коэффициентом усиления $G_{\text{пр}}$ связанная с приемником антенно-волноводным трактом, имеющим коэффициент передачи мощности $\eta_{\text{пр}}$. При надлежащем согласовании волновых сопротивлений элементов тракта мощность сигнала на входе приемника будет

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} \frac{\lambda^2 P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} G_{\text{пр}}}{16\pi^2 d^2 L_{\text{доп}}} \quad (1)$$

В таком виде полученное выражение представляет собой общеизвестную формулу, применяемую для расчета радиолиний прямой видимости. Видно что наиболее зависимо значение мощности от расстояния между приёмником и передатчиком.

Продолжая развитие этой формулы, можно указать, что в случае, когда параметры приемной антенны заданы не в виде коэффициента усиления, а в виде эффективной площади S_a , связанной с коэффициентом усиления соотношением

$$G_{\text{пр}} = \frac{4\pi S_a}{\lambda^2}$$

то предыдущее выражение может быть записано как

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} \frac{P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} S_a}{4\pi d^2 L_{\text{доп}}} \quad (2)$$

Эта формула позволяет определить необходимую величину мощности передатчика по заданному значению мощности сигнала на входе приемника.

Интересно отметить, что сюда не входит длина волны. Однако не стоит забывать, что от длинны волны в общем случае будет зависеть размер приёмной антенны, чем меньше длина волны тем меньшего размера требуется антенна абоненту.

Также величина дополнительных потерь $L_{\text{доп}}$ в значительной степени определяется диапазоном частот.

Однако иногда для определения качественных показателей передачи информации в качестве параметра задаётся не минимальная мощность сигнала, а минимально допустимое соотношение сигнал/шум.

И тогда формула [1] приобретает вид

$$\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} = P_{\text{пер}} \frac{\lambda^2 P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пр}} G_{\text{пр}}}{16\pi^2 d^2 L_{\text{доп}} k T_{\text{ш}} \Delta f_{\text{ш}}} \quad (3)$$

Где:

$P_{\text{ш}}$ – мощность шума на входе приёмника

k - постоянная Больцмана ($1,380\ 6488 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$)

$T_{\text{ш}}$ – эквивалентная шумовая температура на входе приёмника

$\Delta f_{\text{ш}}$ – эквивалентная шумовая полоса приёмного устройства

Эквивалентная шумовая температура - это температура физического нагрева эквивалентного сопротивления, численно равного входному сопротивлению приёмника, при которой мощность шума активного сопротивления равна мощности шумов на входе приёмника.

Эквивалентная шумовая полоса приёмного устройства - это полоса пропускания идеального прямоугольного фильтра при условии равенства мощности шума реального фильтра и приёмника.

Понятие эквивалентной шумовой температуры оказывается очень удобным при расчёте отношения сигнал/шум, так как в шумовой температуре приёмника земной станции можно учитывать шумы космического

радиоизлучения, шумы излучения атмосферы, шумы земной поверхности, а также можно учитывать шумовую температуру антенны, и самого приёмника.

2.2 Уравнение связи при активной ретрансляции

При активной ретрансляции (сигнал отправленный с центральной земной станции принимается бортовым ретранслятором усиливается, переносится на другую частоту и отправляется потребителю без обработки) уравнение для участка Земля-спутник (где индекс "с" указывает на принадлежность к спутнику а "з" на принадлежность к земной станции)

$$P_{пер з} = \frac{16\pi^2 d_1^2 L_{1 доп} P_{ш с}}{\lambda_1^2 P_{пер з} \eta_{пер з} G_{пер з} \eta_{пр с} G_{пр с}} \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вк с}$$

$$P_{ш с} = kT_{ш с} \Delta f_{ш с}$$

И для участка спутник - Земля

$$P_{пер с} = \frac{16\pi^2 d_2^2 L_{2 доп} P_{ш з}}{\lambda_2^2 P_{пер с} \eta_{пер с} G_{пер с} \eta_{пр з} G_{пр з}} \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вк з}$$

$$P_{ш з} = kT_{ш з} \Delta f_{ш з}$$

На сигнал в обоих участках спутниковой радиолинии действуют шумы схожего характера. Бортовой ретранслятор (БРТР) работает в режиме прямого усиления, а значит не компенсирует действие шумов на сигнал в первом участке радиолинии. Поэтому можно предположить что действие шумов в участках радиолинии носит аддитивный характер. И тогда можно записать:

$$\left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\Sigma} = \left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{вк с} + \left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{вк з}$$

И для удобства понимания приведём эту формулу к виду:

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\Sigma} = \frac{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вх с}} \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вх э}}}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вх с}} + \left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{вх э}}} \quad (4)$$

Для такого выражения можно построить график изображённый на Рисунке 2.2

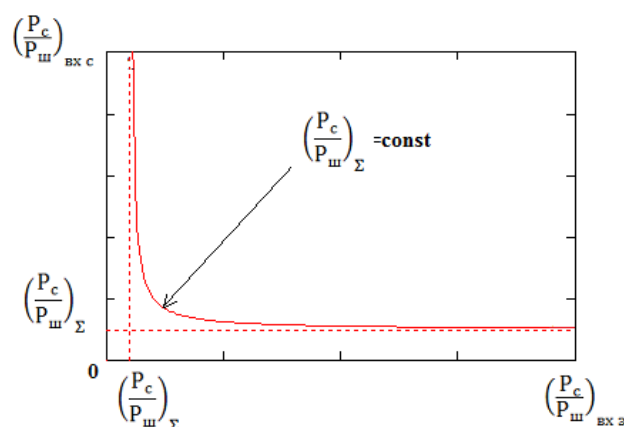


Рисунок 2.2

По полученному результату можно сказать, что если на входе БРТР отношение сигнал/шум очень велико (если мощность передающей антенны ЦЗС будет очень большой), то при расчёте энергетических характеристик в спутниковой радиолинии, для расчёта параметров абонентской станции, достаточно будет провести расчёт в радиолинии БРТР - Земля. Такой подход справедливо можно применить для расчёта энергетических характеристик радиолинии DBS-типа.

Поэтому дальнейшие расчёты энергетических характеристик будем проводить для участка БРТР-Земля (в нисходящей космической радиолинии).

Тогда можно воспользоваться выражением для одного участка радиолинии:

$$P_{\text{пер с}} = \frac{16\pi^2 d_2^2 L_2 \text{ доп } P_{\text{ш з}}}{\lambda_2^2 P_{\text{пер с}} \Pi_{\text{пер с}} G_{\text{пер с}} \Pi_{\text{пр з}} G_{\text{пр з}}} \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}} \text{ вх з}} \right)$$

2.3 Учёт энергетических потерь в атмосфере Земли

Основными энергетическими затратами при распространении сигнала является рассеивание это сигнала в пространстве, обусловленных большой физической протяженностью трассы. Так, при высоте орбиты ИСЗ, равной 40 тыс. км, максимальное расстояние между передатчиком и приемником составляет 45 тыс. км, а затухание сигнала может достигать 200 дБх[3]. Если перевести из логарифмических единиц измерения, то очевидно, что сигнал может получить ослабление по мощности в 10^{-20} раз. Но при этом не стоит забывать про ослабление сигнала проходящего через атмосферу Земли.

При осуществлении связи между космическим объектом и Землей радиоволны последовательно проходят через космическую среду и атмосферу Земли, включая тропосферу и ионосферу. Если космическая среда, в которой лежит основная часть пути» практически не оказывает влияния на условия распространения радиоволн, то атмосфера Земли, напротив, может радикально изменить эти условия и сделать их существенно отличными от условий распространения в свободном пространстве.

В диапазонах частот, выделенных для спутниковой связи» влияние атмосферы проявляется в виде действия следующих факторов:

- ослабления (поглощения) радиоволн в тропосфере и ионосфере;
- отражения и рассеивания из-за неоднородностей, встречающихся на пути радиоволн;
- искривления траектории радиолуча в результате рефракции;

— изменения формы и плоскости поляризации радиоволн (эффект Фарадея);

— появления помех, обусловленных тепловым излучением атмосферы и шумами поглощения.

Каждый из этих факторов в конечном счете приводит к уменьшению энергии (или уровня) сигнала в точке приема и потому должен учитываться с требуемой точностью. В этом параграфе будет рассмотрен первый фактор — ослабление сигнала за счет поглощения в атмосфере.

Наибольшее поглощение радиоволны испытывают в атмосферных газах, в основном в кислороде и водяных парах. Это поглощение имеет селективный (частотнозависимый) характер причем наибольшее поглощение наблюдается на частотах, совпадающих с частотами внутримолекулярных переходов.

Так, электроны молекул кислорода, обладающих постоянным магнитным моментом, под влиянием магнитного поля волны могут переходить с низших энергетических уровней на более высокие. При этом поглощается энергия радиоволны и соответственно ослабляется напряженность поля. Кислород обладает двумя полосами поглощения, центры которых соответствуют частотам 60 ГГц и 120 ГГц.

Молекулы воды имеют постоянный электрический момент; под действием электрического поля волны в них возбуждаются колебания, поддержание которых происходит за счет энергии сигнала. Наибольшая амплитуда колебаний, а следовательно, и наибольшее поглощение наблюдаются на частотах 24 ГГц и 165 ГГц. Указанные резонансные частоты поглощения лежат достаточно высоко, поэтому в диапазонах частот, выделенных для спутниковой связи, частотные свойства атмосферы изменяются относительно монотонно. Величина потерь сигнала в атмосфере характеризуется коэффициентом поглощения $L_a, \text{дБ/км}$, который зависит от распределения

давления, температуры и влажности вдоль пути сигнала. Примерная модель атмосферы, учитывающая это распределение, представлена на Рисунке 2.3

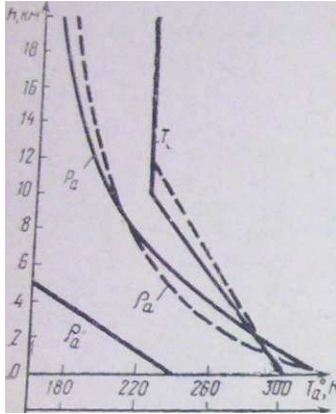


Рисунок 2.3

Длина пути радиосигнала в атмосфере, очевидно, зависит не только от толщины атмосферы, но и от угла места земной антенны. При $\beta = 90^\circ$ луч пересекает атмосферу по кратчайшему расстоянию: при $\beta = 0$ длина пути сигнала в атмосфере существенно возрастает (до 80 раз). Некоторую роль играет и высота земной станции над уровнем моря. Численные значения поглощения на молекулах кислорода и водяного пара, а также потери в сухой атмосфере при различных углах места антенны приведены в Рисунке 2.4[3]

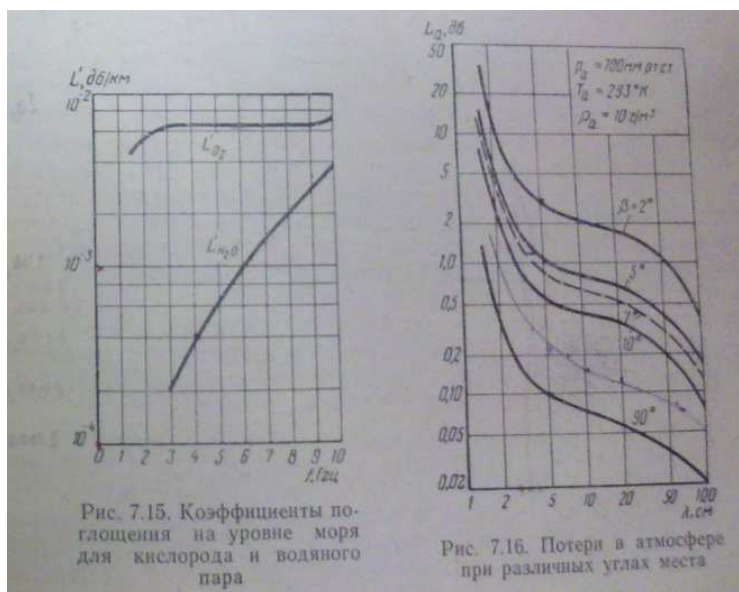


Рис. 7.15. Коэффициенты поглощения на уровне моря для кислорода и водяного пара

Рис. 7.16. Потери в атмосфере при различных углах места

Рисунок 2.4

Так как в атмосфере не редки случаи появления гидрометеоров, которые по большей части состоят из молекул воды, то при расчёте энергетических характеристик нужно так же учитывать климатическую составляющую. Наибольшее ослабление вносят жидкие гидрометеоры (дождь, туман); ослабление за счет твердых гидрометеоров (града и снега) значительно меньше, наконец, наличие взвешенных частиц — аэрозолей — практически не влияет на поглощение сигнала и при обычных условиях может не учитываться. Коэффициент ослабления измеряется в дБ/км, а интенсивность дождя в мм/ч

На Рисунке 2.5 показана зависимость ослабления от длины волны при различной интенсивности выпадения осадков.[3]

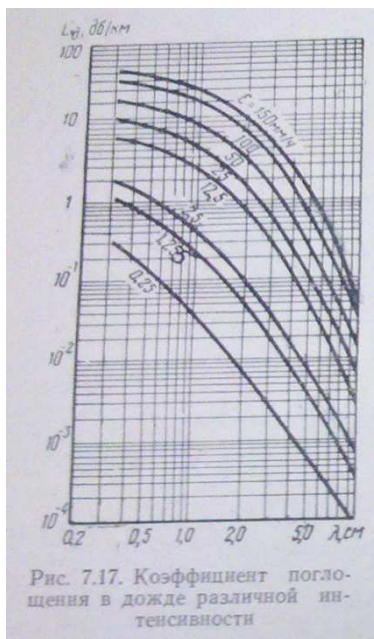


Рисунок 2.5

Для частоты 11 ГГц (длина волны 2,7 см) ослабление может достигать 5 дБ/км. А для частоты 20 ГГц (длина волны 1,5 см) ослабление может быть более 10 дБ/км, что при обычной толщине облака, при интенсивных осадках, в 2 км может достигать 20 дБ, что является весьма существенной цифрой. Однако подобные обильные осадки появляются довольно редко и для того

чтобы их учесть созданы интегральные кривые распределения интенсивности осадков (пример на Рисунке 2.6).

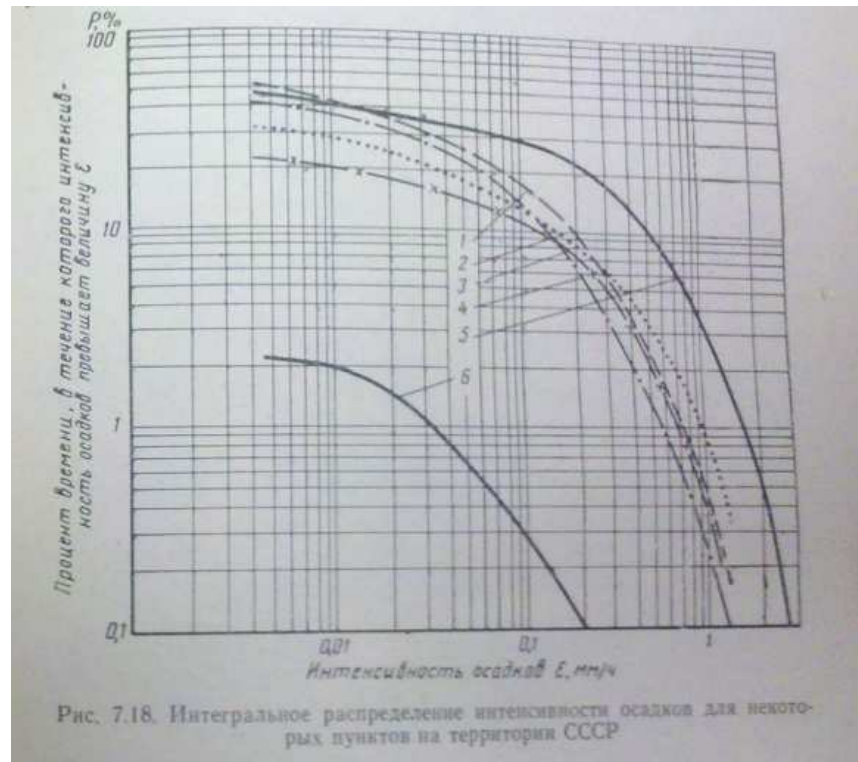


Рисунок 2.6

Так для Москвы обозначена кривая под номером 1 и из неё видно что с вероятностью 99.9% наибольшая среднемесячная интенсивность осадков не превысит 3мм/ч. Что означает, что с вероятностью 99.9% сигнал на частоте 11 ГГц в следствии погодных условий в среднем будет испытывать ослабление в облаках 0.05дБ/км, а сигнал на частоте 20 ГГц - 0.5дб/км что при средней толщине облаков в 2 км, является не такой уж и большой величиной (по сравнению с потерями на рассеивание энергии в свободном пространстве).

Глава 3. Статистическая обработка данных.

3.1 Схема снятия экспериментальных данных.

Для исследования условий приёма сигнала на территории Москвы мне были предоставлены данные от ООО "ОНПЦ" параметра SQF. Параметр SQF предлагается производителем оборудования Hughes Network Systems как параметр, связанный с отношением “сигнал/шум” при приеме ЗС “прямого” канала. При этом следует понимать, что SQF не является соотношением сигнал/шум, а так же нам неизвестно то, как этот параметр рассчитывается, но точно известно, что чем выше значение SQF тем выше соотношение сигнал/шум.

Схема измерения представлена на рис.3.1

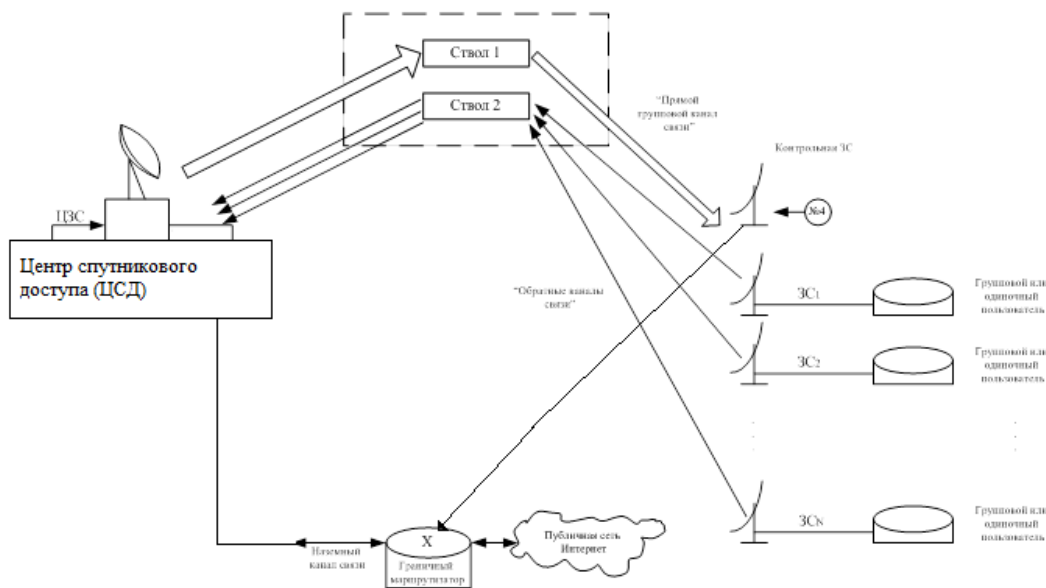


Рисунок 3.1

Мгновенное (в заданный момент времени $t = t_j$) значение обобщенного параметра качества приема SQF регистрируется на контрольной ЗС, а данные с неё отправляются на граничный маршрутизатор по протоколу SNMP и хранятся там в виде текстовых файлов с записанными результатами измерений за каждые сутки. Параметр SQF снимается с интервалом в 1 минуту. Цель наблюдения параметра SQF заключалась в том, чтобы составить вероятностную модель изменения этого параметра. Объём данных равен двум месяцам. Данный параметр является непрерывной величиной, и несмотря на то, что снят он дискретно по времени, в части обработки, применяемые к нему методы такие же, как и к непрерывной величине.

3.2 Обработка моментных функций

В первой части обработки мною были исследованы моментные функции (математическое ожидание и дисперсия) данного параметра. Так как параметр SQF снимается каждую минуту, то его значений оказывается 60 за час и 1440 за сутки, в результате чего для вычисления математического ожидания можно воспользоваться формулой среднего арифметического.

Для вычисления дисперсии можно воспользоваться формулой несмещённой оценки:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Данные были обработаны с помощью программы Excel, характерные посуточные графики дисперсии и математического ожидания представлены на рис.3.2 и рис.3.3, а так же в Приложении 1.



Рисунок 3.2

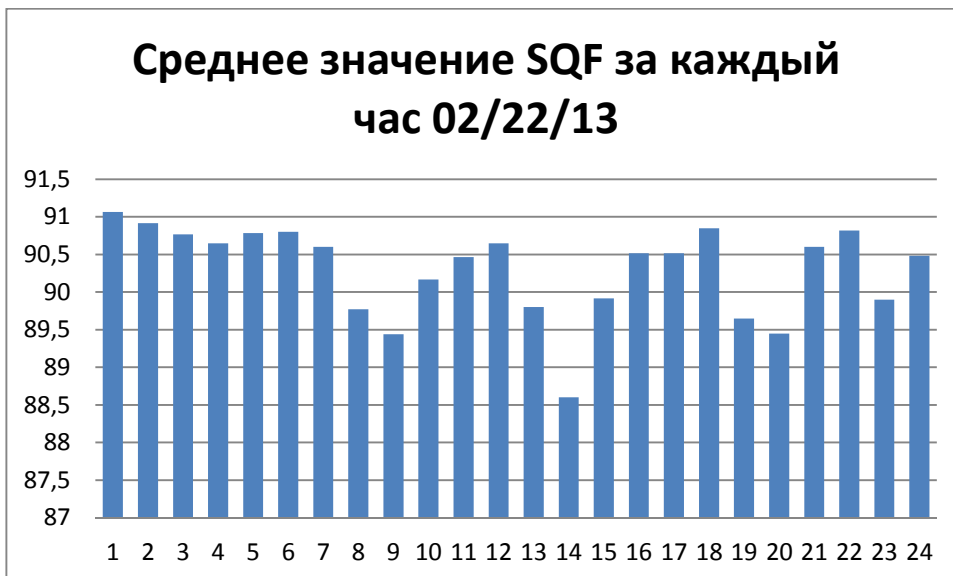


Рисунок 3.3

Графики средних значений математического ожидания и дисперсии за длинный промежуток времени:

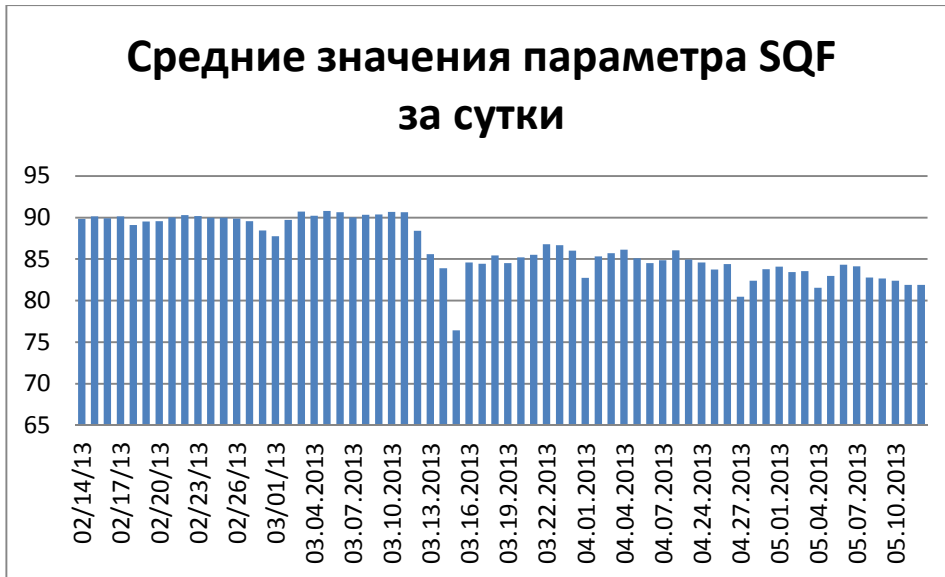


Рисунок 3.4



Рисунок 3.5

Нетрудно заметить что наибольшего значения дисперсия достигает 15 марта и 1 апреля. В эти дни в Москве были сильные снегопады, а значит и условия приёма были плохими, что и видно из представленных диаграмм.

Примечательно так же отметить, что математическое ожидание параметра SQF заметно снизилось после 15 марта.

3.3. Статистическая модель параметра SQF

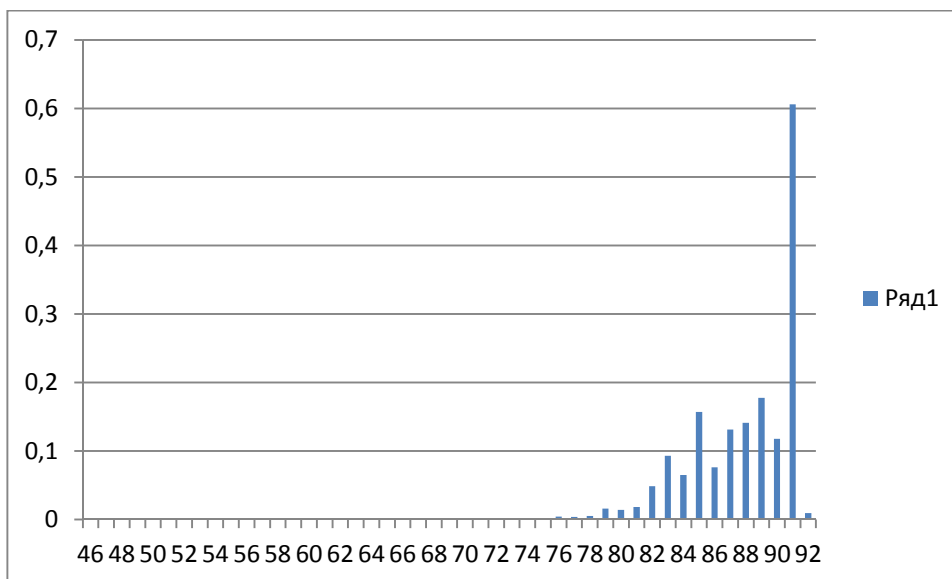
В ходе обработки мной была получена экспериментальная плотность вероятностей значений параметра SQF.

При построении плотности вероятностей учитывался непрерывный характер параметра SQF.

Ниже подробно изложен механизм обработки.

Мною были найдены пределы изменения параметра SQF за весь период наблюдений. Интервалы были разбиты на отрезки единичной длины (так как минимальный интервал между самыми близкими значениями был единица). Затем подсчитывалось число попаданий значений SQF в каждый интервал и нормировалось на общее количество произведённых измерений. Плотности распределения вероятностей за сутки весьма разнообразны, но сходятся в том, что их невозможно описать простым законом, их графики представлены в Приложении 3.

Распределение плотностей вероятности за весь период измерений:



Выводы:

Данная статистическая обработка показывает как и на сколько изменяется параметр сигнала связанный с отношением "сигнал/шум" в реальной системе спутниковой связи, абонентский терминал которой расположен на территории Москвы.

В обильные снегопады значение SQF сильно падает. Налицо очень сильная зависимость параметра SQF от погодных условий.

При этом невозможно описать изменение параметра SQF простым вероятностным законом.

Измерения параметра SQF могут пригодиться при проектировании радиолинии и учёте параметров влияющих на качество приёма. В обычный день дисперсия SQF невелика(меньше 5), однако влияние погоды может резко увеличить её до значений 25 и 35, что означает значительное ухудшения качества приёма.

Глава 4. Разработка электрической схемы натурального макета для измерения характеристик спутникового канала связи в системах DBS-типа.

В ходе бакалаврской работы была разработана принципиальная схема стенда для измерения характеристик в системах DBS-типа. На данном стенде должно быть наглядно показано влияние на спутниковый телевизионный сигнал других сигналов.

Разрабатываемый макет должен работать в реальной сети системы спутниковой связи, то есть является именно «натурным» - на макете отсутствует возможность «моделирования».

4.1 Состав схемы

Натурный стенд будет основываться на антенне работающей в диапазоне спутникового телевидения (10/11ГГц) и декодере, который будет преобразовывать принимаемый сигнал в изображение.

Данный стенд использует в качестве принимаемого сигнал обычного спутникового телевидения, а в качестве мешающих сигнала будет использован сигнал с генератора сигналов и "индустриальный шум", поступающий с МШУ. Генератор сигналов позволяет регулировать тип и параметры сигнала, что позволит измерить влияние различных сигналов на принимаемый сигнал спутникового телевидения.

Для анализа сигнала предлагается использовать спектроанализатор R&S, находящийся в аудитории м910а. Для смешения сигнала спутникового телевидения с мешающим сигналом, а также для включения спектроанализатора предлагается использовать ответвители.

Для питания МШУ, вносящего шум в принимаемый сигнал в схеме, используется инжектор с проходом постоянного тока только на один разъём.

4.1.1 Элементы коаксиального тракта

В макете используется элементная база «ВЧ»-элементов. Это коаксиальные кабели, сумматор, переходники. Коаксиальные кабели и переходники обеспечивают надёжное соединение а высокочастотный сумматор с проходом питания по одному плечу обеспечивает суммирование сигналов от МШУ и генератора сигналов.

Для «генератора дополнительного шума» используется обычный МШУ – преобразователь на промежуточную частоту L-диапазона, усиливающий индустриальный шум окружающей среды – таким образом можно считать, что дополнительный шум является белым в диапазоне «около» промежуточной частоты.

4.1.2 Спектроанализатор цифровой Rohde&Schwarz FSC6

Спектроанализатор Rohde & Schwarz это современный, многофункциональный прибор, позволяющий измерять уровень спектральной мощности сигналов и шумов в диапазоне частот от 9 кГц до 6 ГГц. Основные характеристики:

- Широкий динамический диапазон отображаемый на экране (при полосе 40 МГц): от – 20 до – 90 дБм.
- Возможность «фотографировать» спектрограммы.
- Возможность сохранять в памяти спектр, и проводить относительно него математические вычисления – вычитать из текущего значения спектра – значение спектра в памяти.
- Уровень собственных шумов (при полосе 40 МГц): -90 дБм.
- Основные характеристики спектроанализатора:
 - - Частотный диапазон: 9 кГц – 6ГГц.
 - - Разрешение по частоте: 1Гц,

- - Время развертки (для полосы обзора до 600 МГц): 20мс – 1000 с.
- - Средний уровень собственных шумов (в полосе 1 – 2ГГц): - 159 дБм/1Гц.
- - Разъемы: N-гнездо (измерительный), USB 1.1 (для внешнего запоминающего устройства), 10/100 BaseT Ethernet (для подключения к компьютеру) [15]

4.1.3 Генератор сигналов

Современные генераторы сигналов представлены двумя широкими классами устройств: векторными генераторами и обычными. Приборы, технология создания которых базируется на векторном представлении радиосигналов и вычислениях спектров с помощью алгоритмов быстрого преобразования Фурье, в сравнении с аналоговыми приборами обладают неоспоримыми преимуществами. К ним относятся: большая скорость работы, высокое разрешение, способность одновременно представлять сигналы во временной и частотной областях, анализировать и синтезировать любые высокочастотные процессы, работать под управлением внутреннего или внешнего программного обеспечения.

Для сравнения рассмотрим два генератора фирмы Rode&Shwarz:

- векторный SMBV-100 Rohde&Scw.

- обычный генератор SMC-100A

Для начала дадим краткое описание каждого из них, взятое с сайта производителя.

Генератор R&S®SMC100A обеспечивает замечательное качество сигнала по весьма привлекательной цене. Рабочий диапазон частот генератора от

9 кГц до 1,1 или 3,2 ГГц. Номинальное значение выходной мощности более +17 дБмВт. Все важные функции (АМ/ЧМ/ФМ/импульсная модуляция) уже встроены в прибор. Все это характеризует генератор сигналов R&S®SMC100A как гибкий и универсальный прибор.

При покупке измерительного прибора важным фактором является общая стоимость эксплуатационных расходов. R&S®SMC100A имеет не только низкую начальную стоимость, но и малые расходы по дальнейшему обслуживанию, поскольку пользователь может сам заменять вышедшие из строя модули и контролировать точность и воспроизводимость уровня с помощью датчиков мощности R&S®NRP-Z91/-Z92.

Генератор сигналов SMBV-100 Rohde&Scw работает в полосе частот от 9кГц до 6ГГц при этом максимальный уровень выходной мощности +18 дБмВт. Однако его особенностью является то, что он способен модулировать различные сигналы, например: GSM/EDGE/EDGE evolution, 3GPP FDD включая HSPA/HSPA+, TD-SCDMA, CDMA2000®, 1×EV-DO, EUTRA/ LTE, WiMAX IEEE 802.16-2004, Cor1-2005, 802.16e-2005 и 802.16Rev2/D3 , WLAN IEEE 802.11a/b/g/n, Bluetooth®, GPS, HD Radio™3), XM Radio, DVB-H/DVB-T, многочастотный CW-сигнал.

Стандарты DVB-H/DVB-T являются стандартами передачи видеоданных на мобильные устройства, и поэтому мы сможем с использованием генератора SMBV-100 "смешивать" сигнал спутникового телевидения с похожим на него сигналом.

В целом SMBV-100 Rohde&Scw имеет лучшие характеристики чем R&S®SMC100A, однако для создания лабораторной установки будет достаточно использовать менее мощный, но значительно более дешёвый R&S®SMC100A. Так же немаловажным фактом является то, что в дальнейшем при использовании стенда студентами, проще в обслуживании будет генератор сигналов R&S®SMC100A.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам изучения литературы показано, что спутниковые системы непосредственного телевидения (DBS) являются основным типом спутниковой связи по числу абонентов (пользователей) – сотни миллионов человек по всему миру. Определены обязательные требования к оборудованию натурального стенда для лабораторного практикума каф. РТС для изучения условий приема и взаимных помех в DBS- системах: стандарты MPEG2, MPEG4; стандарт DVB-S/S2.
2. Проведен расчет (выбор) размера приемной антенны натурального стенда для условий приема в г. Москве. Предложено использовать антенну 0,6- 0,9 м с моторизованным подвесом, что увеличит количество исследуемых (сравниваемых) систем в условиях ограниченного учебного времени для исследований.
3. Предложена общая схема электрических соединений натурального стенда; определен состав оборудования и измерительных приборов для регистрации измерений параметров при исследовании влияния шумов и межсистемных помех в DBS-системах.
4. Изучена схема измерений обобщенного параметра SQF, связанного с отношением мощности полезного сигнала к мощности шума на входе демодулятора в спутниковой радиолинии в действующей VSAT-сети диапазона 11/14 ГГц.
5. Проведена обработка результатов измерений за период бакалаврской работы 3 месяца в части:
 - определения математического ожидания и дисперсии параметра SQF;
 - экспериментальной плотности распределения вероятности для параметра SQF.
- 5.1. Показано, что процесс приёма сильно зависит от изменения погодных условий, которые являются случайной величиной с переменными параметрами. Поэтому можно говорить о нестационарности процесса приёма.
- 5.2. Получен график экспериментальной плотности вероятности параметра SQF. Видно что он имеет несимметричный характер, и не описывается законом типа нормального.
6. Задание на бакалаврскую работу выполнено в полном объеме.

Литературные источники:

1. Цифровое вещание от студии к телезрителю 2001г.- М., Сайрус Системз, Локшин Б.А.
2. Справочник по спутниковой связи и вещанию под редакцией Кантора Л.Я. радио и связь 1998г.
3. "Основы технического проектирования систем связи через ИСЗ", Изд-во "Связь", ч. 1, 1970г., ч. 2, 1972г.
4. <http://www.arstel.com/>

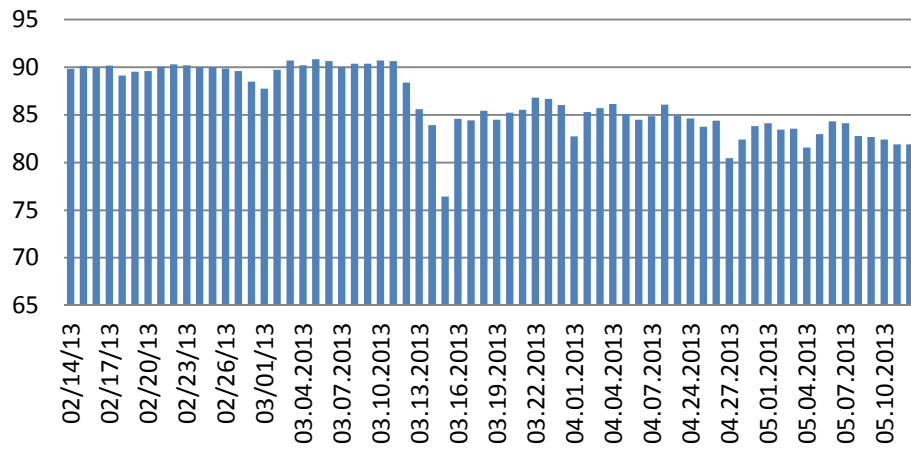
Приложение 1

Средние значения параметра SQF и его дисперсии за время измерений.

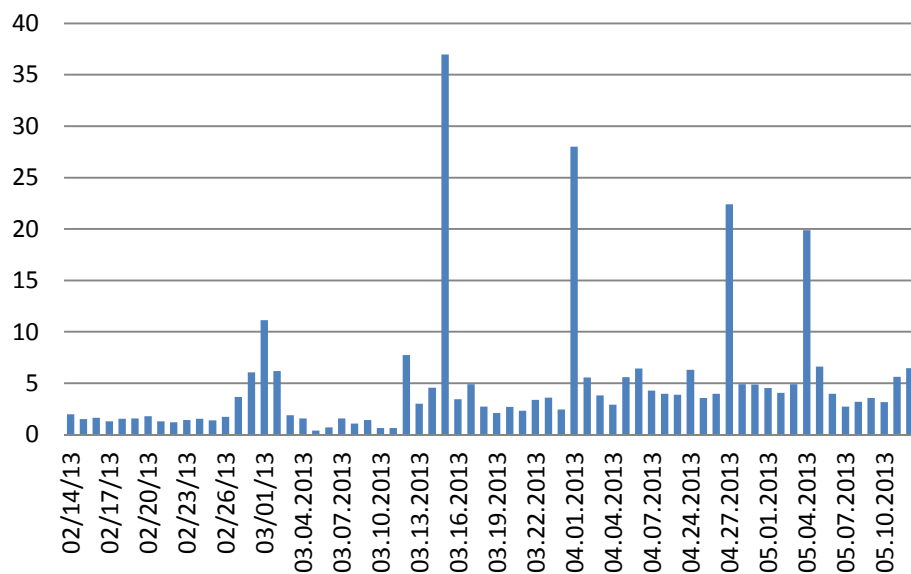
дата	Среднее за сутки	Средняя дисперсия
02/14/13	89,83848699	1,978999178
02/15/13	90,12247738	1,513183007
02/16/13	89,91527778	1,653933256
02/17/13	90,15694444	1,297590664
02/18/13	89,10632384	1,537687598
02/19/13	89,5320781	1,589277829
02/20/13	89,57152778	1,792105999
02/21/13	90,04249292	1,294228346
02/22/13	90,30083565	1,221475625
02/23/13	90,19513889	1,427893036
02/24/13	89,97569444	1,559825907
02/25/13	89,98190675	1,397028236
02/26/13	89,86856745	1,745590576
02/27/13	89,57651992	3,659937854
02/28/13	88,46336357	6,054659168
03/01/13	87,74	11,14
03.02.2013	89,73453787	6,193602132
03.03.2013	90,70868347	1,896927398
03.04.2013	90,20577872	1,592609313
03.05.2013	90,81297976	0,410243249
03.06.2013	90,6271777	0,724418167
03.07.2013	90,01353276	1,578576534
03.08.2013	90,34429671	1,084457996
03.09.2013	90,36831133	1,413626562
03.10.2013	90,69	0,66
03.11.2013	90,63534362	0,657107847
03.12.2013	88,38819444	7,728977975
03.13.2013	85,59116809	3,01591624
03.14.2013	83,91689944	4,582188004
03.15.2013	76,42288904	36,98305114

03.16.2013	84,58999305	3,457646662
03.17.2013	84,42637823	4,910951748
03.18.2013	85,43876837	2,738019771
03.19.2013	84,50034795	2,119254754
03.20.2013	85,22803347	2,702325928
03.21.2013	85,52433936	2,333088464
03.22.2013	86,80753138	3,383725514
03.23.2013	86,65763889	3,597092406
03.24.2013	86,0257123	2,445096415
04.01.2013	82,75312935	28,01208136
04.02.2013	85,30731707	5,557512671
04.03.2013	85,69353718	3,820479761
04.04.2013	86,13412092	2,925670837
04.05.2013	85,09652778	5,602211702
04.06.2013	84,49895761	6,450450929
04.07.2013	84,84930556	4,296246911
04.22.2013	86,05138889	3,985216573
04.23.2013	84,93676164	3,8864837
04.24.2013	84,60696864	6,316152706
04.25.2013	83,74895688	3,587120105
04.26.2013	84,39285714	3,974352344
04.27.2013	80,45716343	22,40301505
04.28.2013	82,3969975	4,922819015
04.29.2013	83,7984127	4,874802968
05.01.2013	84,10347222	4,551683145
05.02.2013	83,45277778	4,067349341
05.03.2013	83,55347222	4,917502354
05.04.2013	81,55698925	19,89303352
05.05.2013	82,97	6,62
05.06.2013	84,31549296	3,981574587
05.07.2013	84,1147427	2,746573214
05.08.2013	82,76805556	3,195362524
05.09.2013	82,67847222	3,562676554
05.10.2013	82,39819319	3,168488214
05.11.2013	81,91155989	5,611452171
05.12.2013	81,90472879	6,475599065

Средние значения параметра SQF за сутки

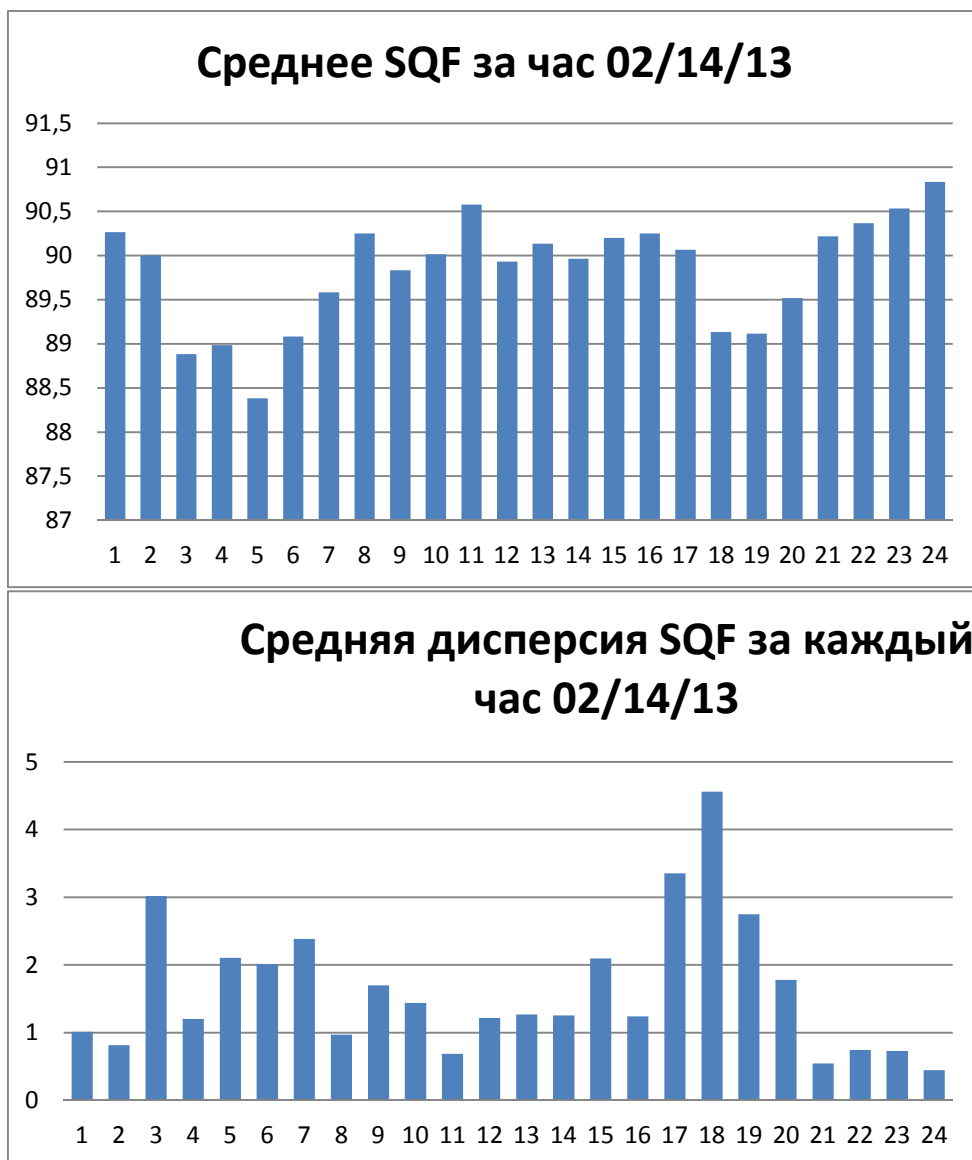


Средняя дисперсия за сутки

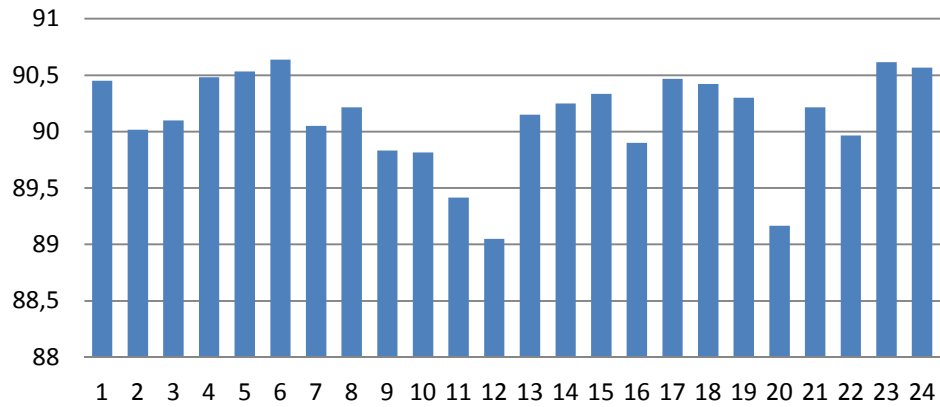


Приложение 2

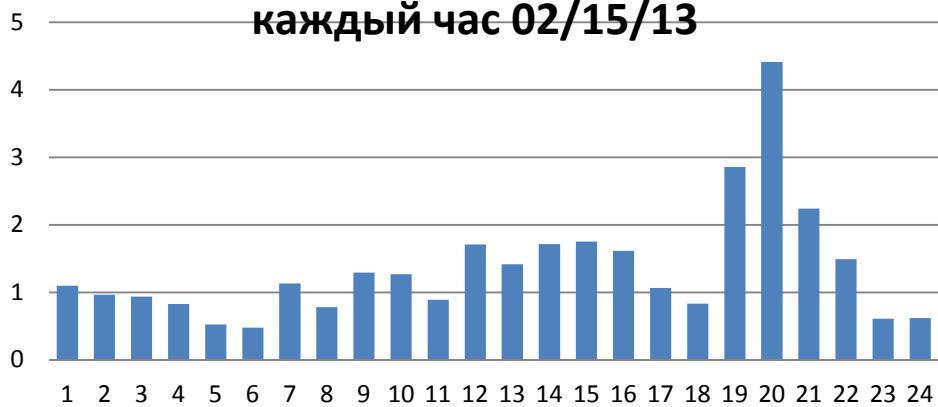
Примеры построения графиков посуточного распределения математического ожидания и дисперсии параметра SQF



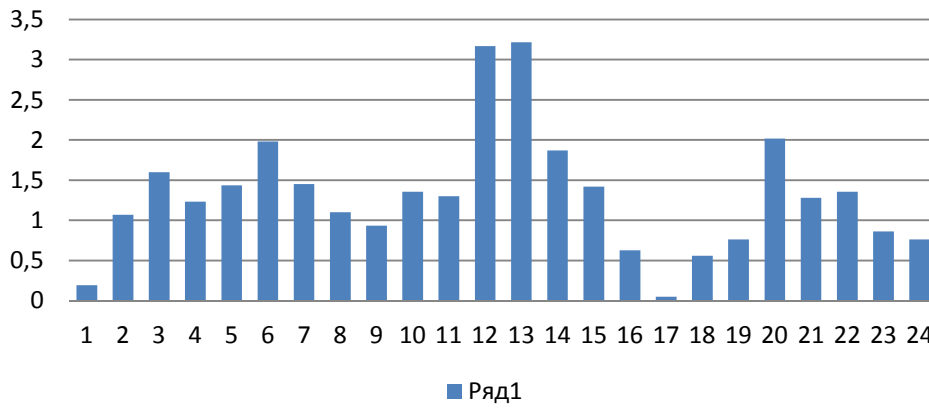
Среднее значение SQF за каждый час 02/15/13



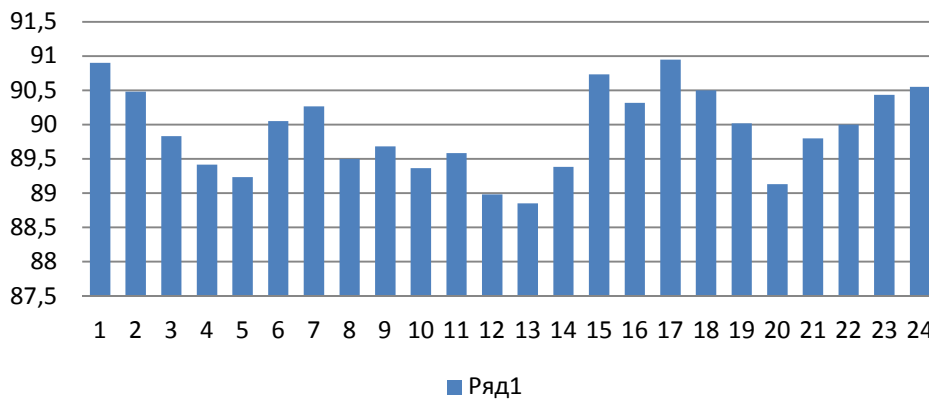
Среднее значение дисперсии SQF за каждый час 02/15/13



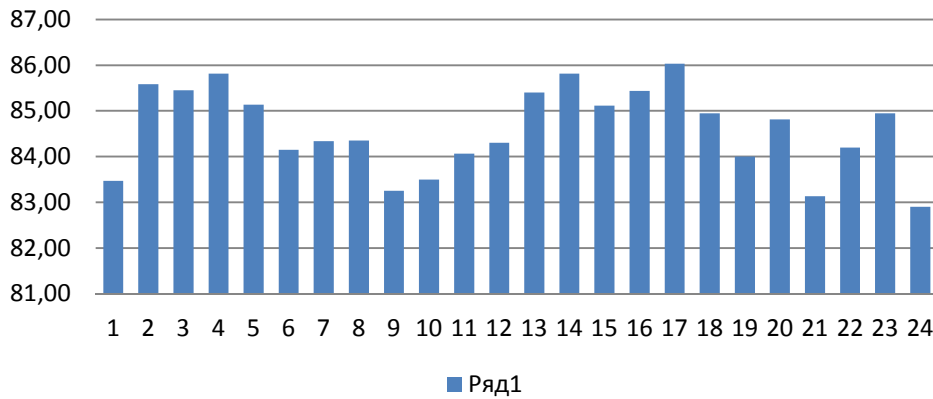
Среднее значение дисперсии SQF за каждый час 02/16/13



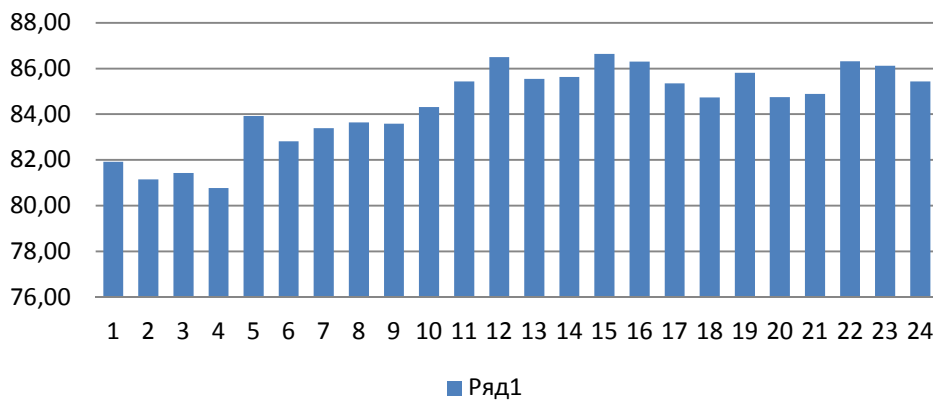
Среднее значение SQF за каждый час 02/16/13



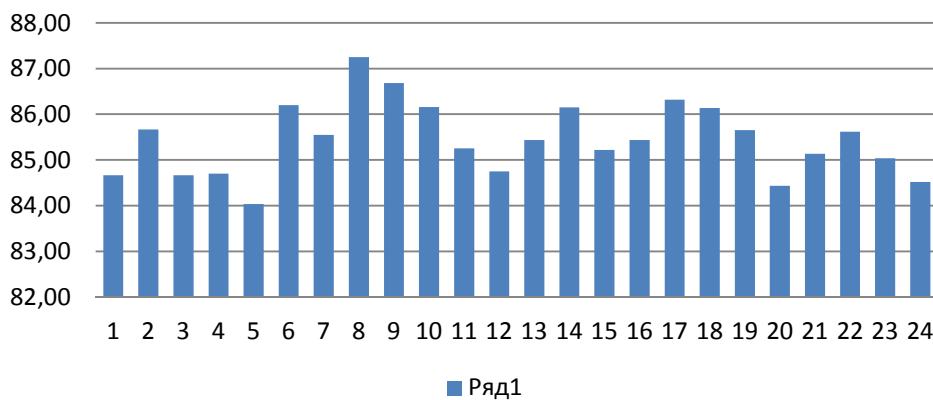
Среднее значение SQF за каждый час 03/16/13



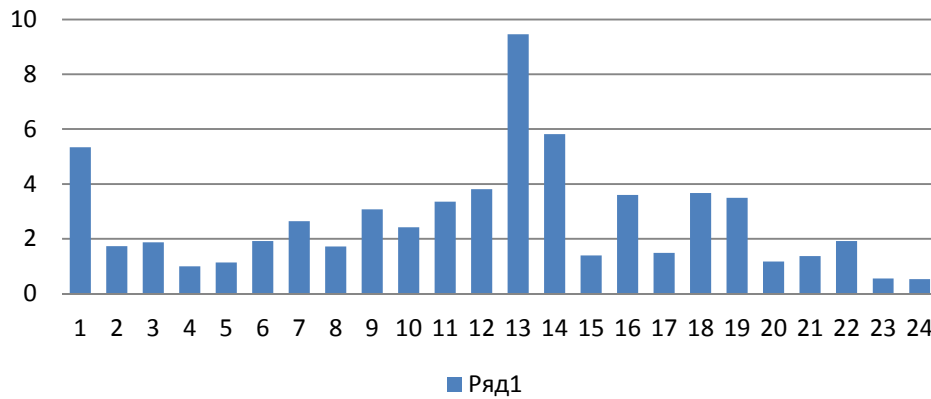
Среднее значение SQF за каждый час 03/17/13



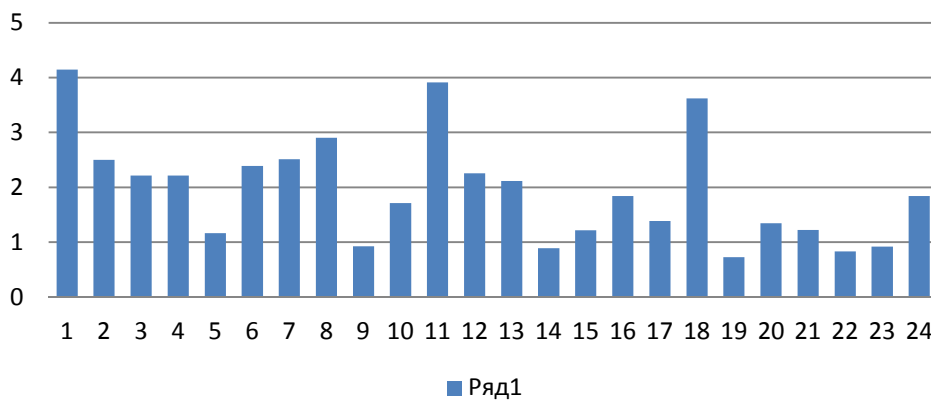
Среднее значение SQF за каждый час 03/18/13



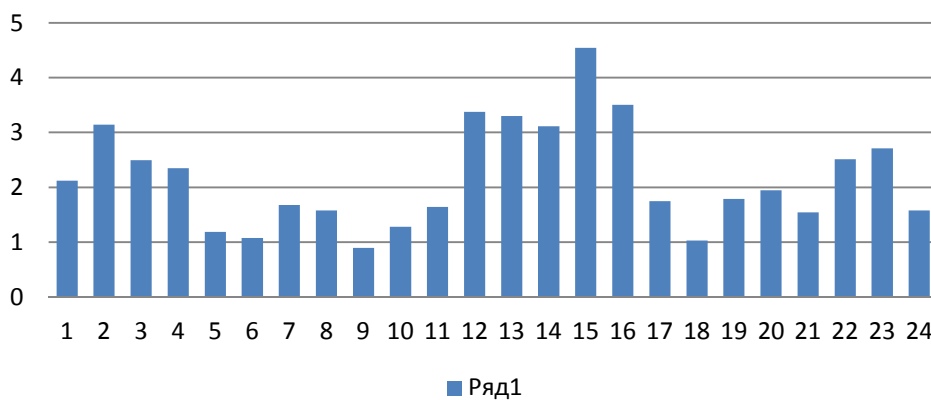
**Среднее значение дисперсии SQF за
каждый час 03/16/13**



**Среднее значение дисперсии SQF за
каждый час 03/17/13**



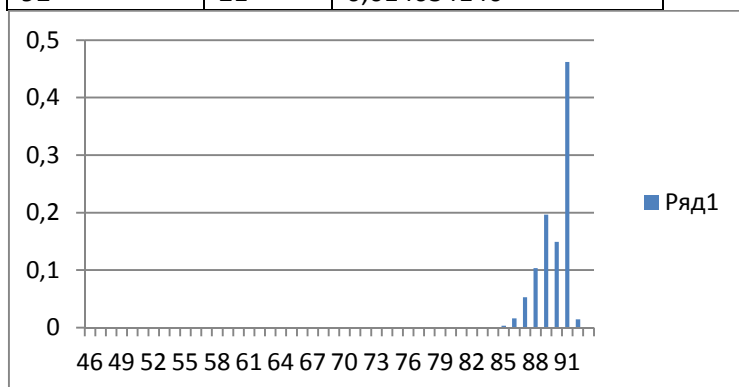
**Среднее значение дисперсии SQF за
каждый час 03/18/13**



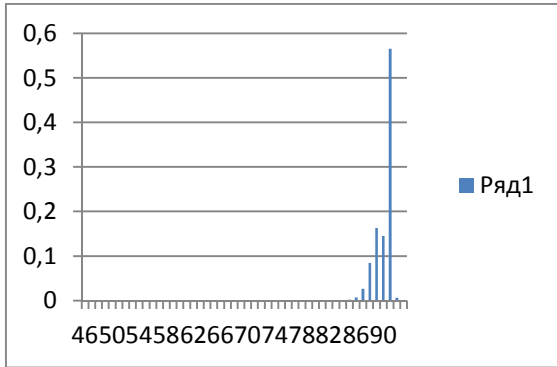
Приложение 3

Пример статистической обработки параметра SQF.

14.02.13		
	частота	нормированная частота
83	1	0,000696864
84	1	0,000696864
85	5	0,003484321
86	23	0,016027875
87	76	0,052961672
88	149	0,103832753
89	282	0,196515679
90	214	0,14912892
91	663	0,462020906
92	21	0,014634146

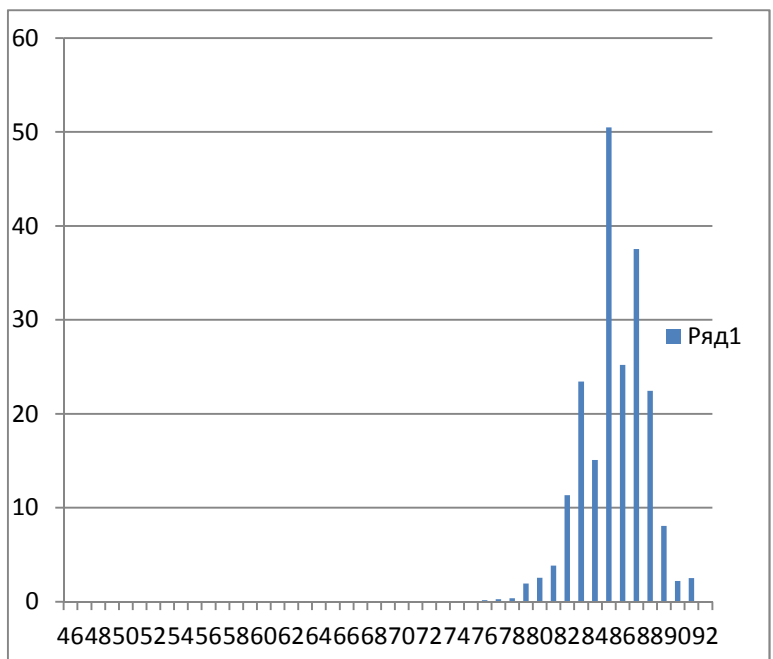


15.02.13		
	частота	нормированная частота
83	1	0,000695894
84	0	0
85	3	0,002087683
86	10	0,006958942
87	38	0,026443981
88	122	0,084899095
89	234	0,162839248
90	208	0,144745999
91	812	0,56506611
92	9	0,006263048



За весь период:	
46	2,936E-05
47	9,948E-05
48	1,424E-05
49	0,000114
50	0
51	0,0002134
52	0,0002136
53	1,424E-05
54	2,892E-05
55	0,000171
56	0,0001997
57	0,0002565
58	8,535E-05
59	0,0001423
60	0,0003562
61	0,0003129
62	0,000314
63	0,0007957
64	0,0003844
65	0,0004706
66	0,0002703
67	0,000413
68	0,0010413
69	0,0004876

70	0,0008264
71	0,0008567
72	0,001013
73	0,0019547
74	0,0010843
75	0,042116
76	0,1670032
77	0,2688621
78	0,3720681
79	1,9338949
80	2,5441329
81	3,8325518
82	11,32942
83	23,440194
84	15,078954
85	50,510599
86	25,202348
87	37,558181
88	22,458799
89	8,0832116
90	2,1914961
91	2,5130726
92	0,0119822



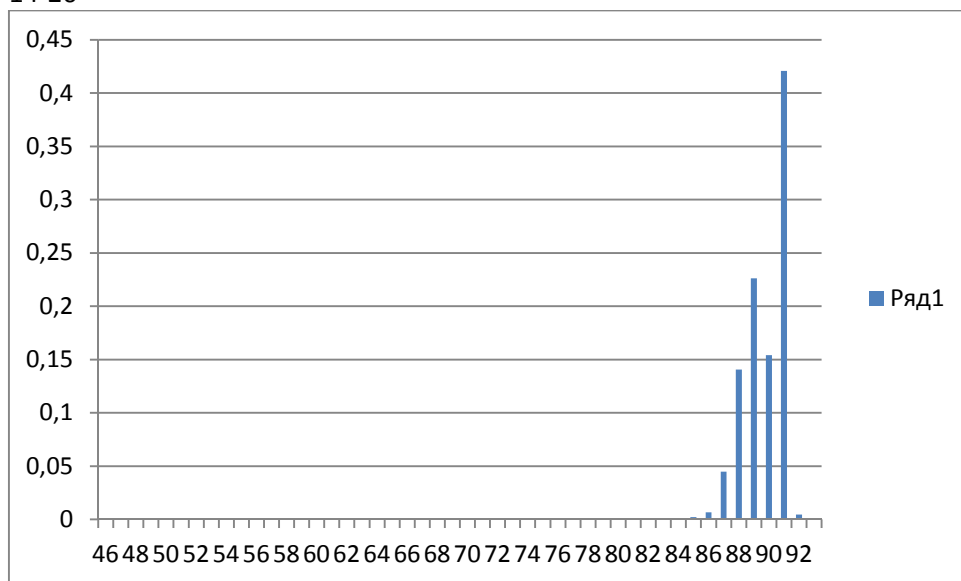
Графики экспериментальной плотности распределения по неделям					
	14-20	21-27	28 - 06	07-13	14-20
46	0	0	0	0	0
47	0	0	0,000696	0	0
48	0	0	0	0	9,9691E-05
49	0	0	0,000695	0	0
50	0	0	0	0	0
51	0	0	0,001391	0	0
52	0	0	0,001393	0	0
53	0	0	0	0	9,9691E-05
54	0	0	0	0	9,9691E-05
55	0	0	0,000696	0	0,000199382
56	0	0	0,000698	0	0,000398764
57	0	0	0,000696	0	0,000797528
58	0	0	0	0	0,000398764
59	0	0	0	0	0,000797528
60	0	0	0,000698	0	0,001196291
61	0	0	0	0	0,001395673
62	0	0	0	0	0,001595055
63	0	0	0,002088	0	0,001595055
64	0	0	0	0	0,001495364
65	0	9,98E-05	0,0007	0	0,00099691
66	0	0	0	0	0,001395673
67	0	9,98E-05	0	0	0,000897219
68	0	9,98E-05	0,002096	0	0,001794437
69	0	0	0	0	0,001395673
70	0	0	0,001393	0	0,00309042
71	0	0	0	0	0,004585784
72	0	0	0,0007	0	0,004486093
73	0	0	0,000695	0	0,005782076
74	0	0	0,0007	0	0,003389701
75	0	9,98E-05	0	0	0,00319018
76	0	0	0,001391	0	0,011963263
77	0	9,98E-05	0,000696	0	0,012960242
78	0	0	0	0	0,016847567
79	0	0	0,010465	0,00010175	0,033394479
80	0	0	0,012536	0,000200956	0,017542094
81	0	9,98E-05	0,010455	0,000200956	0,023216783
82	0	0,000398	0,018106	0,004263329	0,05577974
83	0,000199	9,98E-05	0,035534	0,021993284	0,155665305
84	0,000199	0,000299	0,020903	0,017956349	0,110952894
85	0,002187	0,001992	0,127522	0,061860427	0,262190518
86	0,00656	0,004185	0,114292	0,034882381	0,09724401

87	0,044712	0,031576	0,356985	0,059251992	0,115913801
88	0,140481	0,104057	0,644786	0,058170143	0,038183181
89	0,226235	0,192504	0,981853	0,097577739	0,005281079
90	0,154015	0,140877	0,653085	0,082035698	0,000895001
91	0,42084	0,516841	3,936676	0,548354534	0,000797397
92	0,004573	0,006575	0,059379	0,013150459	0

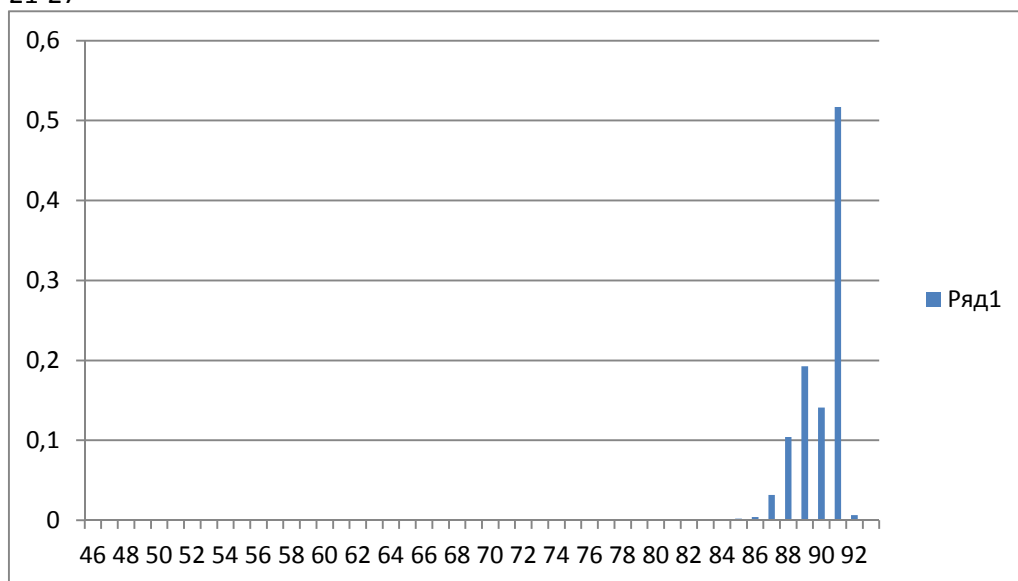
21-28	1-7.04	21-30.04	01-11.05
0	0	0	0,00020555
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0,000102775
0	0	0	0
0	0	0	0,000102775
0	0	0	0,000102775
0	0	0	0
0	0	0	0,000102775
9,93E-05	9,93443E-05	0	0,000102775
9,93E-05	9,93443E-05	0	0,000102775
9,93E-05	9,93443E-05	0	0,000102775
9,93E-05	9,93443E-05	0	0
9,93E-05	9,93443E-05	0	0
0,000199	0,000198689	0	0,000201981
0,000397	0,000397377	0	0
0,000199	0,000198689	0	0,00020555
0,000894	0,000894099	0	9,92063E-05
0,000497	0,000496722	0	0,000201981
0,000596	0,000596066	0	0,000304756
0,000199	0,000198689	0	9,92063E-05
0,000795	0,000794755	0	0,000304756
0,001291	0,001291476	0	0,000715856
0,000497	0,000496722	0	0,001024181
0,000497	0,000496722	0	0,000308325
0,000298	0,000298033	0	0,000815062
0,000596	0,000596066	0	0,000712287
0,002086	0,002086231	0	0,003033288
0,001093	0,001092788	0	0,001314663
0,00149	0,001589579	0,285714	0,002727757
0,002882	0,003377709	1,142857	0,006551115
0,002087	0,002682853	1,857143	0,006364956
0,002882	0,004072499	2,571429	0,009246257
0,010138	0,014702978	13,42857	0,039890143
0,007752	0,015890826	17,71429	0,040722623
0,008547	0,021846033	26,71429	0,049211598
0,025841	0,061066719	79	0,140488575
0,080795	0,121533944	163,4286	0,236964764
0,073236	0,078547832	105,1429	0,107728414

0,239956	0,246763773	352,4286	0,203152281
0,127982	0,114298784	175,8571	0,059849832
0,219214	0,160492175	261,8571	0,06197626
0,115994	0,0914615	156	0,01845981
0,041358	0,033069343	55	0,004602708
0,013517	0,009533959	14,28571	0,000801064
0,0156	0,00843965	12,14286	0,001102114
9,92E-05	0	0	9,92063E-05

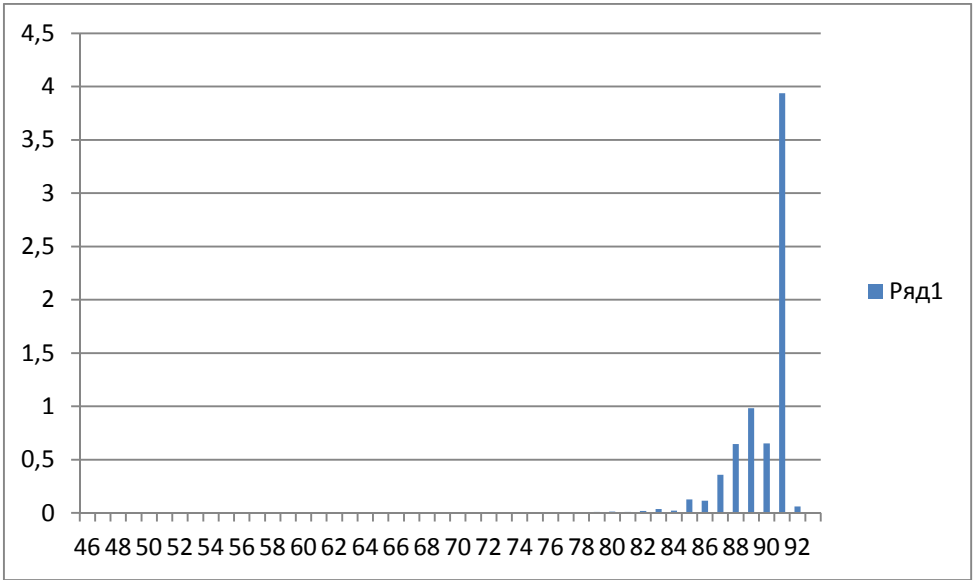
14-20



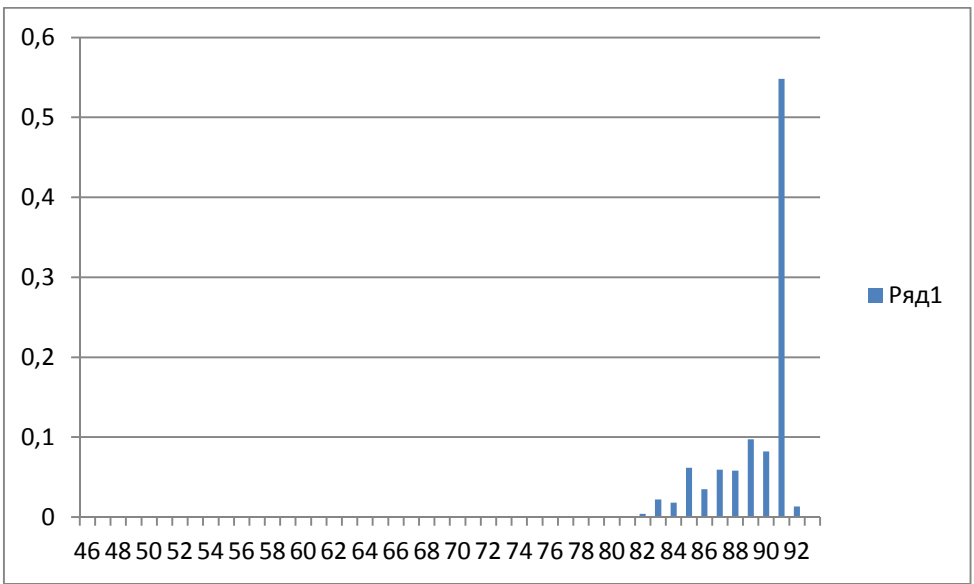
21-27



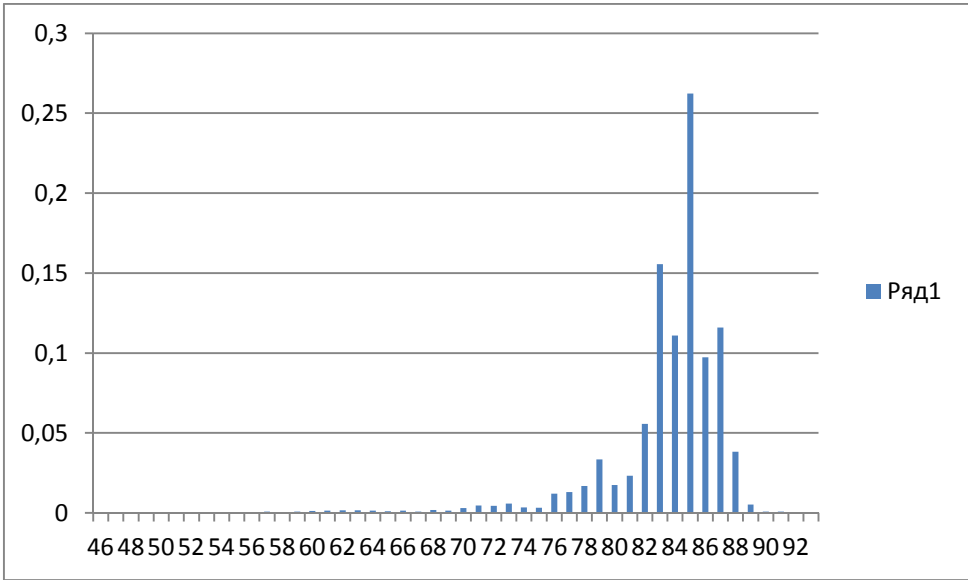
28 - 06



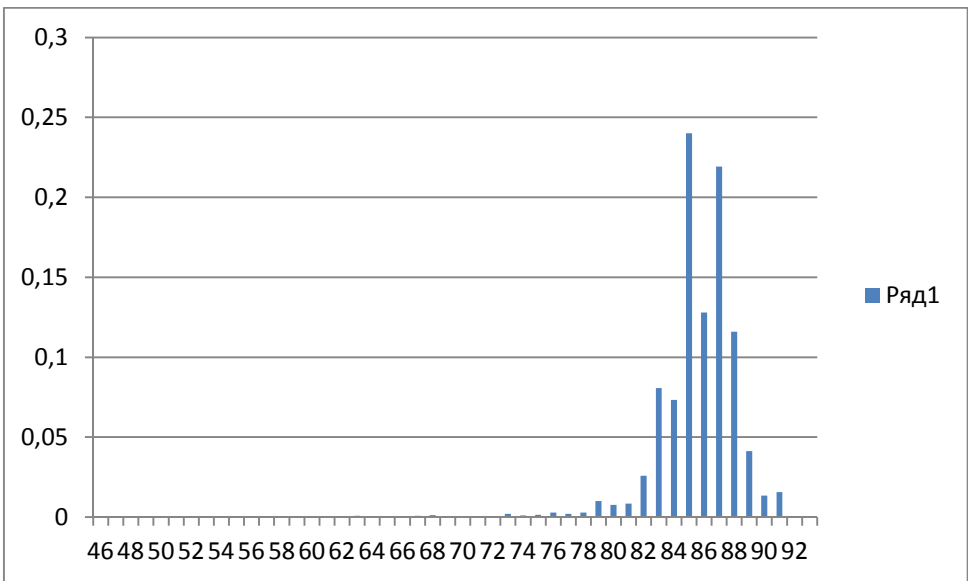
07-13



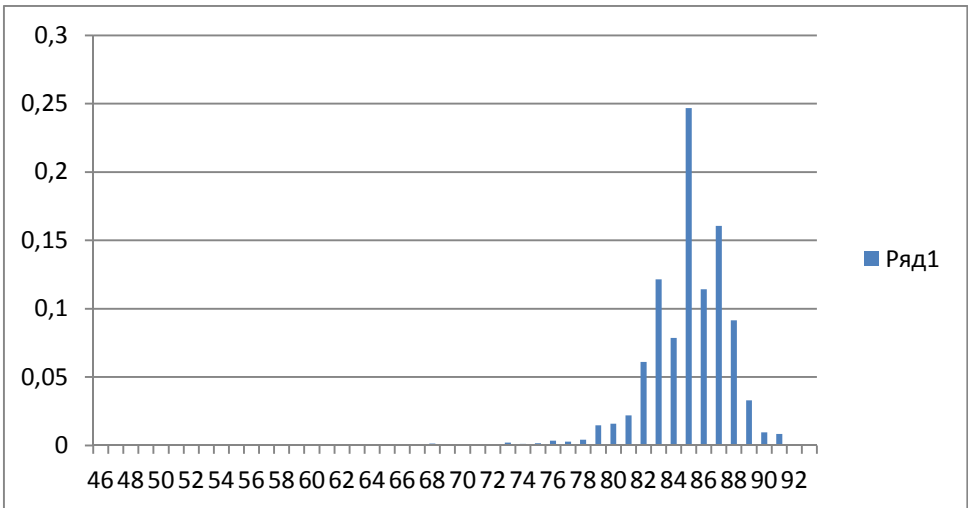
14-20



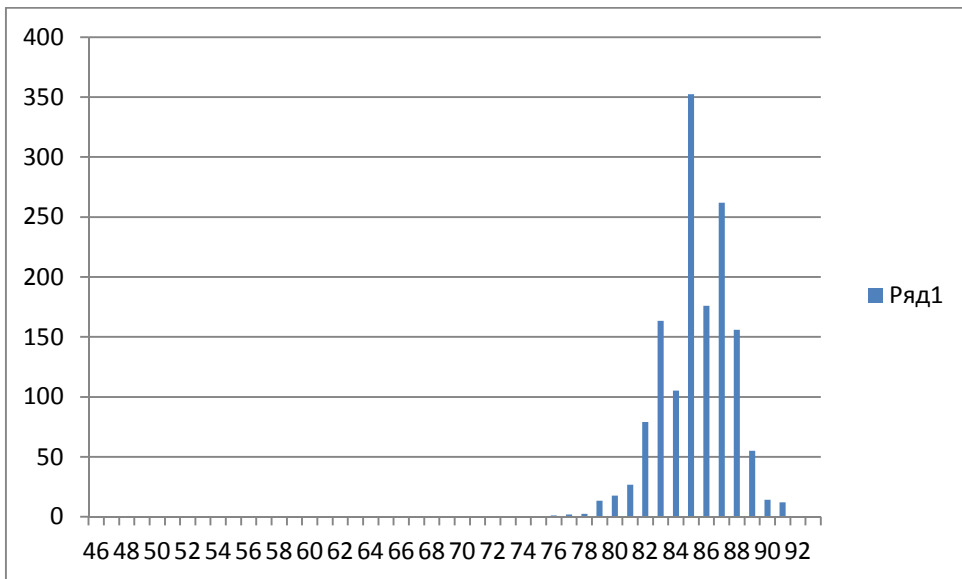
21-28



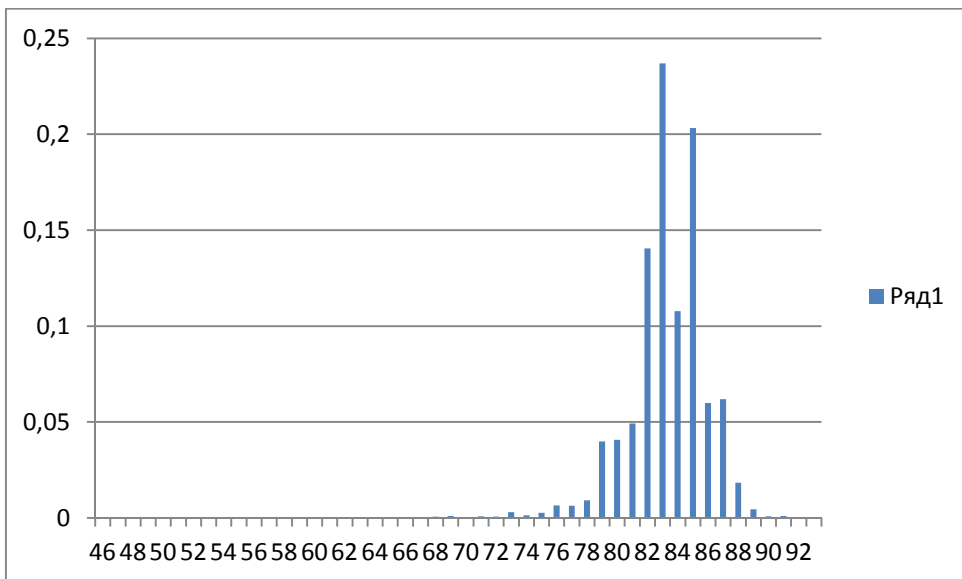
1-7.04



21-29.04



1-11.05



Приложение 4

Пример примеры файлов регистрации параметров приема.

Crosna_control.0

shoutgenStRxSignalQuality

05/03/13 00:00:00	87.000000
05/03/13 00:01:00	84.000000
05/03/13 00:02:00	83.000000
05/03/13 00:03:00	84.000000
05/03/13 00:04:00	85.000000
05/03/13 00:05:00	85.000000
05/03/13 00:06:00	86.000000
05/03/13 00:07:00	83.000000
05/03/13 00:08:00	82.000000
05/03/13 00:09:00	80.000000
05/03/13 00:10:00	82.000000
05/03/13 00:11:00	82.000000
05/03/13 00:12:00	83.000000
05/03/13 00:13:00	82.000000
05/03/13 00:14:00	83.000000
05/03/13 00:15:00	83.000000
05/03/13 00:16:00	82.000000
05/03/13 00:17:00	82.000000
05/03/13 00:18:00	83.000000
05/03/13 00:19:00	83.000000
05/03/13 00:20:00	83.000000
05/03/13 00:21:00	85.000000

Оглавление:

Аннотация	стр.2
Введение	стр.3
Глава 1. Основные принципы работы спутниковых DBS-систем	стр.5
1.1. Принципы построения спутниковых систем связи	стр.5
1.2. Системы спутниковой связи. Основные определения	стр.8
1.3. Принципы организации систем спутникового вещания	стр.13
1.4. Характеристики аналогового видеосигнала	стр.17
1.5. Цифровые интерфейсы в телевидении	стр.21
1.5.1. Параллельный цифровой интерфейс	стр.21
1.5.2. Последовательный цифровой интерфейс	стр.24
1.6 Методы цифрового сжатия	стр.26
1.7 Некоторые действующие стандарты цифрового сжатия	стр.30
1.7.1 MPEG-2	стр.32
1.7.2 MPEG-4	стр.35
1.8 Цифровые интерфейсы MPEG-2	стр.39
1.9 Типовая конфигурация сети цифрового вещания	стр.40
Глава 2. Расчёт энергетических характеристик спутниковой радиолинии (DBS) в диапазоне 11/18 и 20/30 ГГц	стр.43
2.1 Необходимые пояснения для модели спутниковой радиолинии	стр.43
2.2 Уравнение связи при активной ретрансляции	стр.47
2.3 Учёт энергетических потерь в атмосфере Земли	стр.49
Глава 3. Статистическая обработка данных	стр.54
3.1 Схема снятия экспериментальных данных.	стр.54

3.2 Обработка моментных функций	стр.55
3.3. Статистическая модель параметра SQF	стр.58
Глава 4. Разработка электрической схемы натурного макета для измерения характеристик спутникового канала связи в системах DBS-типа.	стр.60
4.1 Состав схемы	стр.60
4.1.1 Элементы коаксиального тракта	стр.61
4.1.2 Спектроанализатор цифровой Rohde&Schwarz FSC6	стр.61
4.1.3 Генератор сигналов	стр.62
Заключение	стр.64
Список литературы	стр.65
Приложение	

Бакалаврская работа:
«Разработка лабораторной
установки для исследования
влияния помех в спутниковой
радиолинии вещательных DBS
систем»

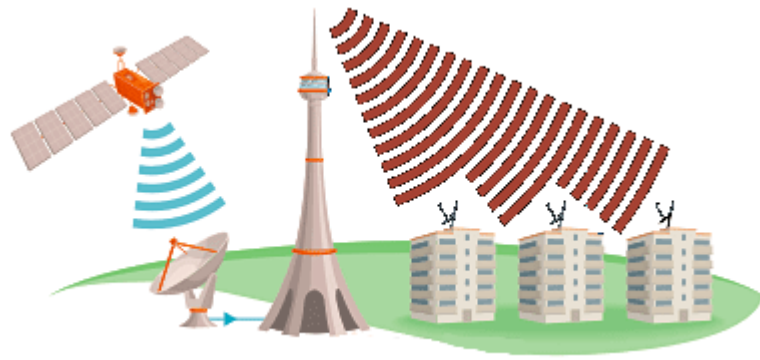
Студент группы ЭР-15-09

Борякин Е.А.

Список поставленных задач при написании диплома:

- изучение литературы по построению систем спутниковой связи вещательного типа и определение основных технических решений.
- выбор основных характеристик натурального стенда.
- разработка схемы электрических соединений натурального стенда
- изучения уровня временной нестабильности условий распространения радиоволн в диапазоне частот 11ГГц, в том числе обработка результатов экспериментальных наблюдений в реальной спутниковой радиолинии.

Типы спутниковых систем связи вещательного типа

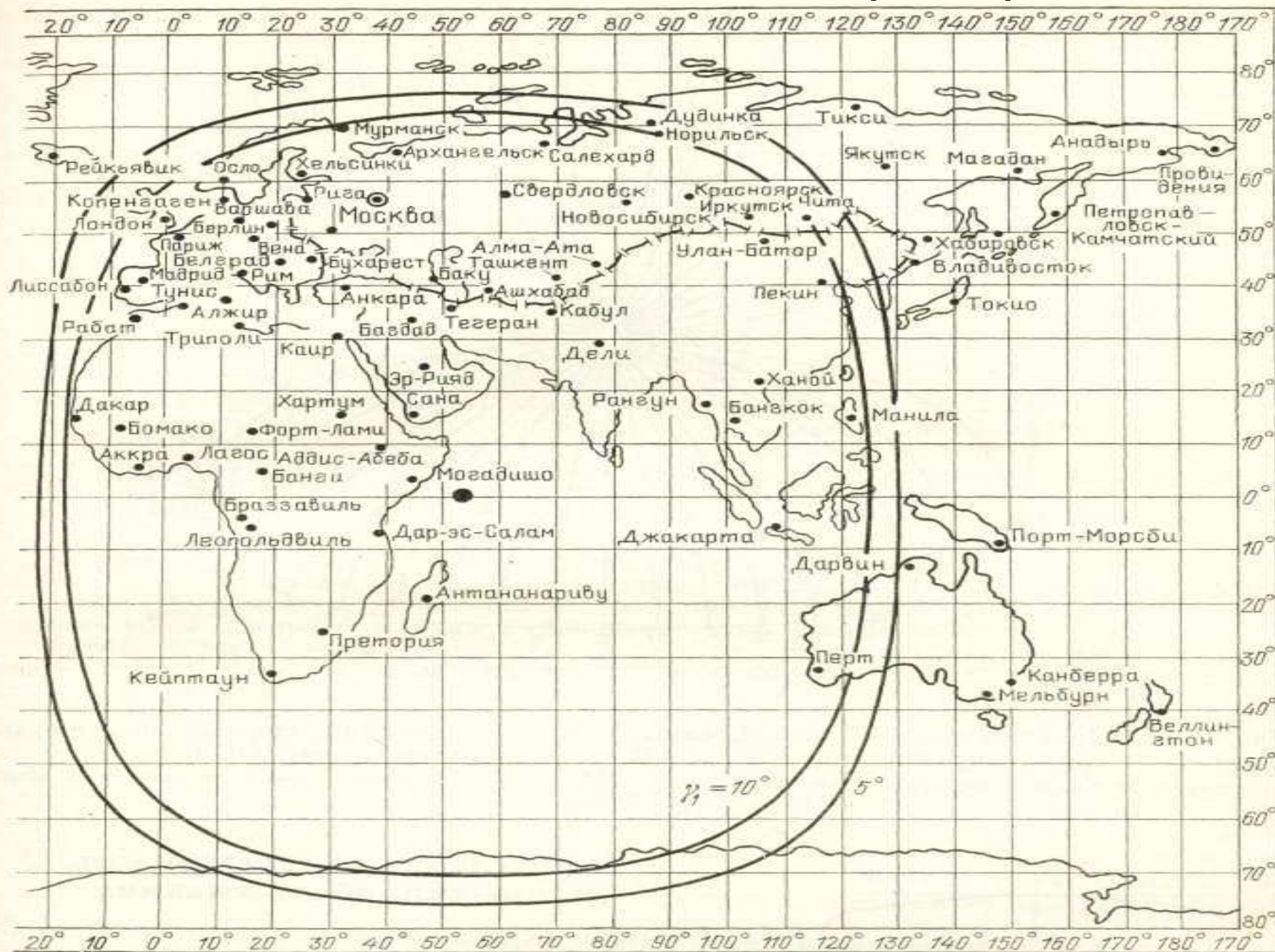


**Распределительное
спутниковое
ТВ-вещание**



**Непосредственное
спутниковое
ТВ-вещание**

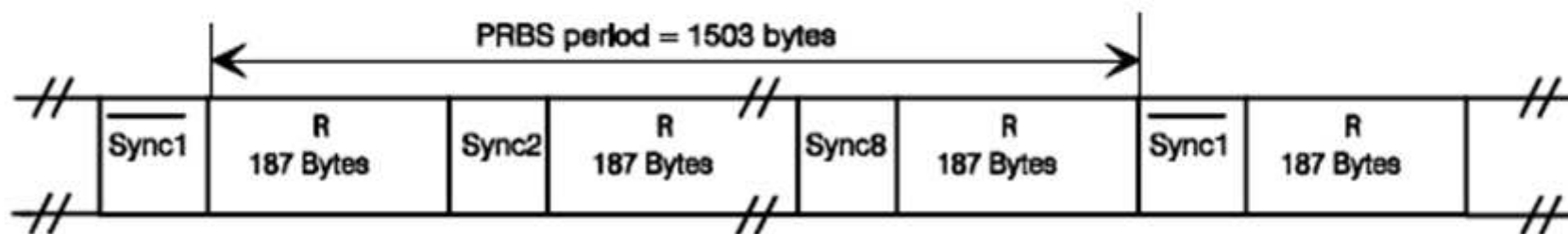
Зона видимости ИСЗ на геостационарной орбите



Структура транспортного потока данных, закодированных по методу MPEG-2



Пакет данных закодированных методом MPEG-2



Транспортный поток данных, кодированных методом MPEG-2

Лабораторная установка для исследования влияния помех в спутниковой радиолинии DBS типа

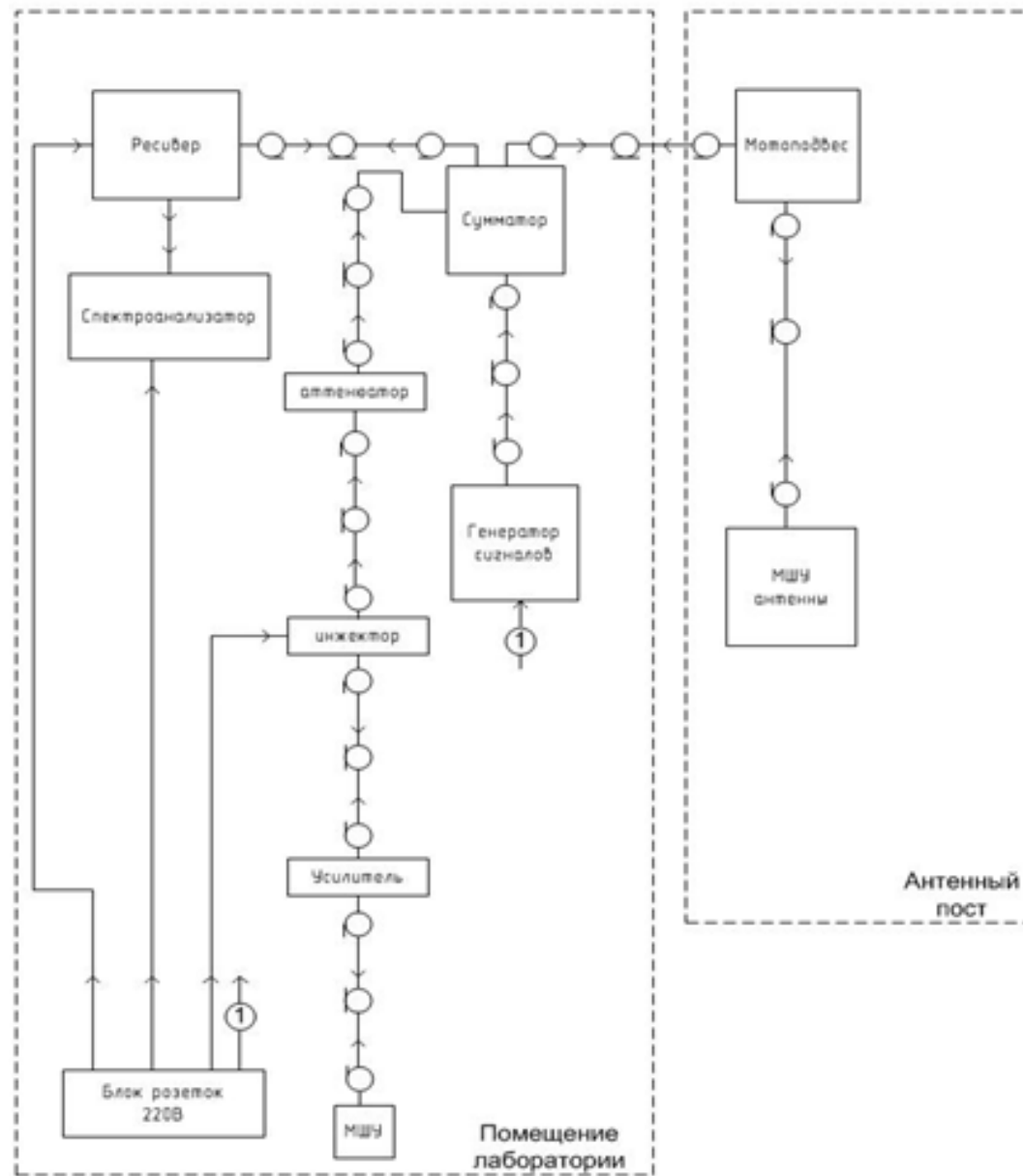
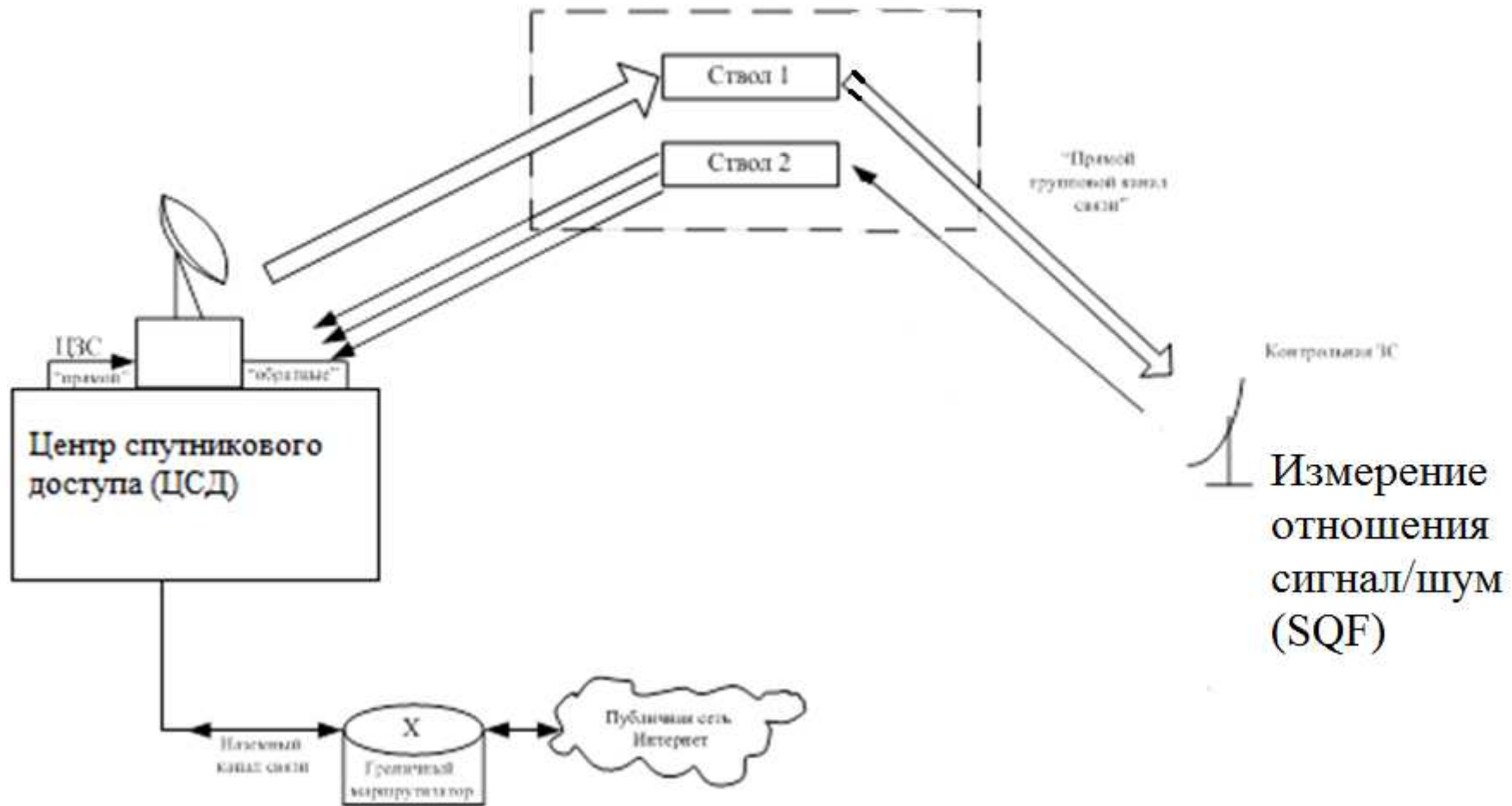


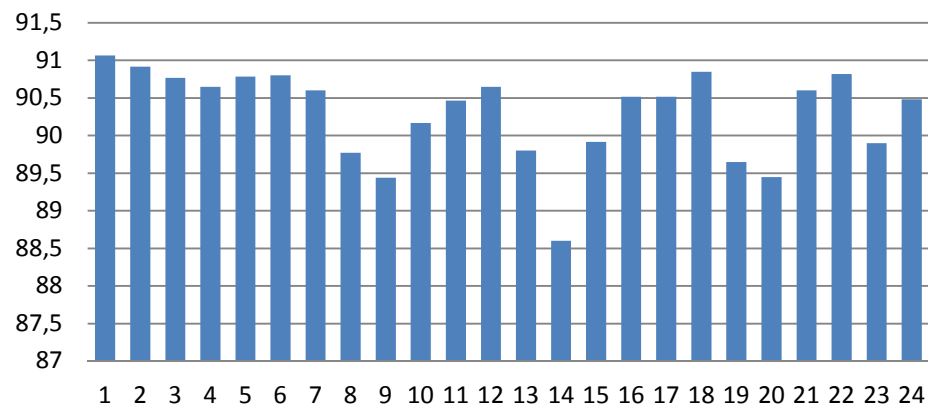
Схема измерения параметра SQF

КА Ямал-201 Ku-диапазон

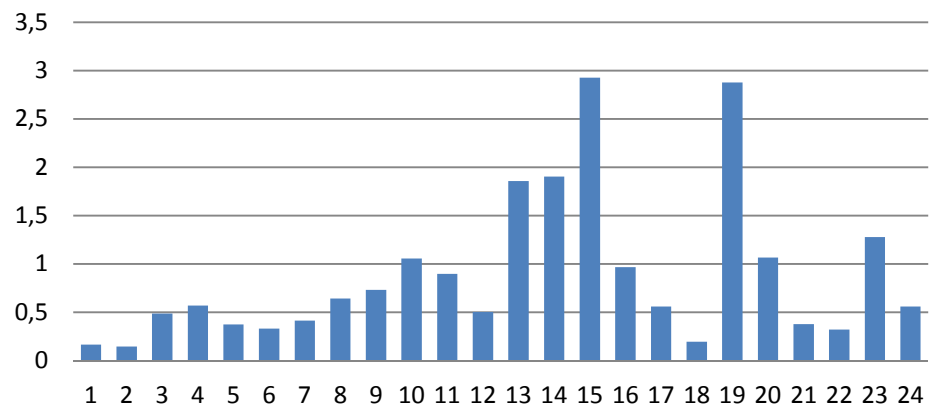


Суточное измерение SQF(осадки средние)

Среднее значение SQF за каждый час 22/02/13

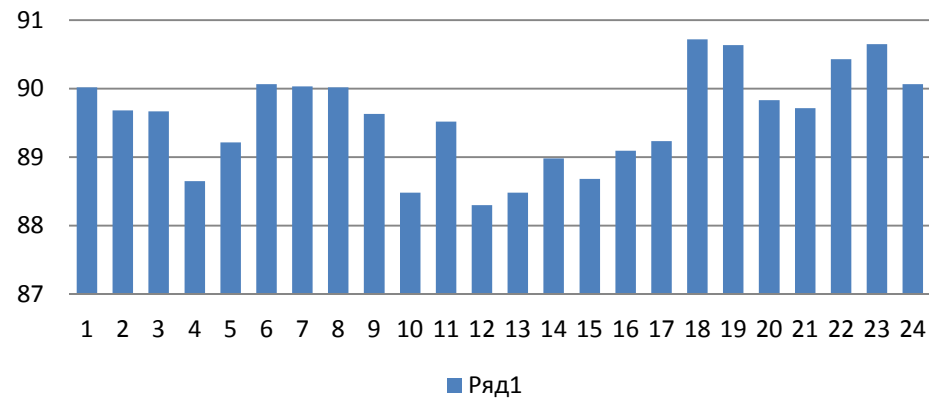


Среднее значение дисперсии SQF за каждый час 22/02/13

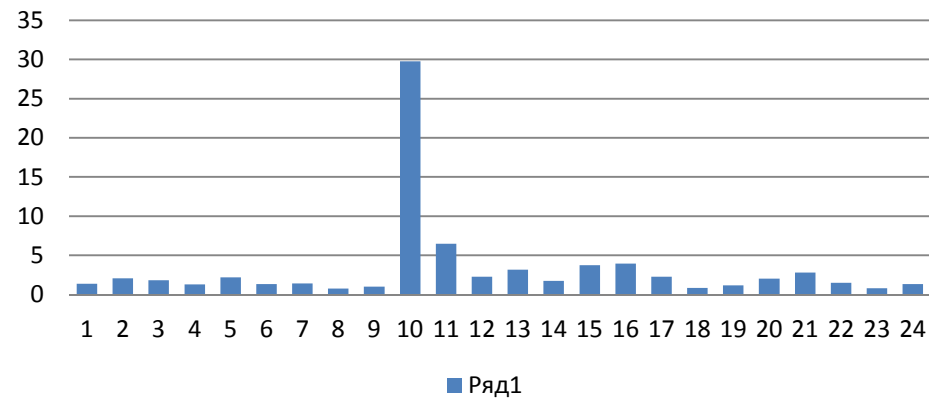


Суточное измерение SQF(увеличенные осадки)

Среднее значение SQF за каждый час 27/02/13

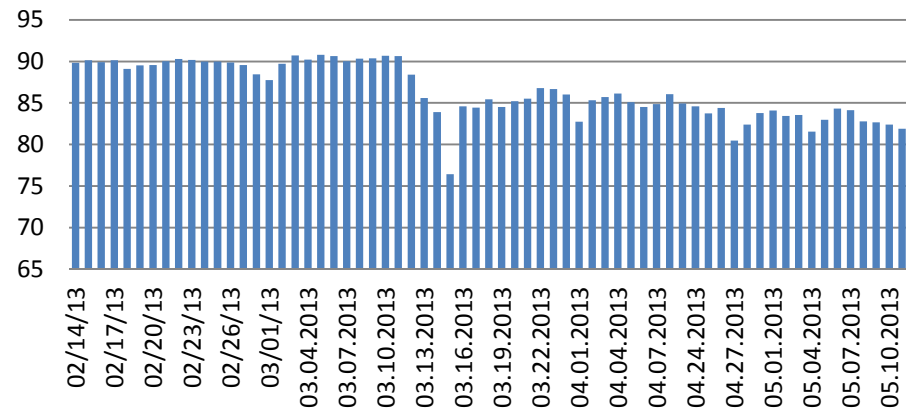


Среднее значение дисперсии SQF за каждый час 27/02/13

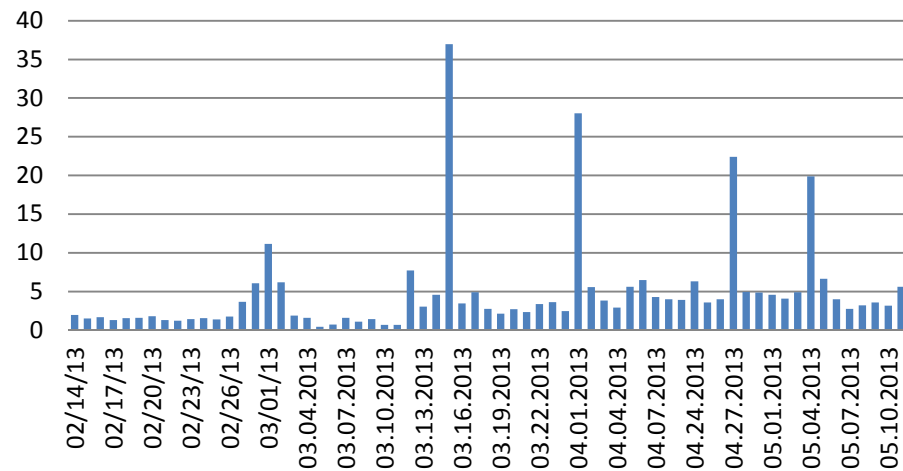


Измерения параметра SQF за весь период наблюдений

Средние посуточные значения параметра SQF



Средние посуточные значения дисперсии параметра SQF



Распределение плотности вероятности параметра SQF (за весь период наблюдений)

