

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Московский технический университет связи и информатики

*Кафедра систем радиосвязи*

**Лабораторная работа № 10**

**Изучение принципов спутникового ТВ вещания**

Составил в 1991г. Степанов А.П., к.т.н., доцент

Новая редакция в 2012г. доцент, Сухорукова И.Ю.

Рецензент: доцент каф.СРС, к.т.н. Кирик Ю.М.

Москва, 2012

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение принципов построения спутниковых систем телевизионного вещания (СТВ).
2. Изучение приемной установки земной станции спутниковой распределительной системы ТВ вещания "Москва".
3. Изучение методики расчета и измерение основных параметров аналоговых спутниковых систем ТВ вещания.

## ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить основные технические данные спутников по Приложению 1 и [4].
2. Ознакомиться с принципами СТВ по приложению 1 и [2].
3. Изучить и зарисовать в отчет функциональную схему приемной установки «Москва» (рис.10.6).
4. Выполнить расчеты геометрических параметров по формулам (10.8) ... (10.15) для заданного спутника и энергетических характеристик по формулам (10.20), (10.17), (10.19), (10.18), (10.23), (10.22), (10.21), (10.24), (10.25) Приложения 2 для соответствующих исходных данных (выполняется студентами **старше 3-го курса** для получения допуска к выполнению лабораторной работы).

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Снять зависимость отношения сигнал-шум на выходе канала изображения (видеотракта) от размаха девиации частоты ЧМ сигнала.  
*Примечание:* выполняется с помощью имитатора сигнала ретранслятора.
2. Измерить отношение сигнал-шум на выходе видеотракта системы "Москва" с учетом и без учета влияния взвешивающего фильтра.
3. По результатам измерений выполнить расчеты по формуле (10.7) и построить графики.
4. Сделать выводы по работе.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

**Отчет выполняется каждым студентом индивидуально.**

Он должен содержать:

1. Цель работы.
2. Основные параметры системы «Москва».
3. Результаты домашнего расчета.
4. Результаты измерений и расчетов в виде таблицы и графиков.
5. Сравнение полученных результатов с допустимыми значениями.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Рассказать о принципах построения и основных параметрах спутниковой распределительной системы "Москва".
2. Пояснить функциональную схему земной приемной станции "Москва" (рис.10.6).
3. Привести и пояснить основные параметры приёмной ЗС «Москва».
4. Пояснить методику энергетического расчета спутниковой линии связи. Что входит в его задачу?
5. Какие параметры используются для оценки качества передачи?
6. Пояснить методику снятия зависимости отношения сигнал- шум на выходе видеотракта от размаха девиации частоты. Какой вид она имеет при различных значениях отношения несущая-шум?
6. Пояснить сущность порогового явления при ЧМ. Определить пороговое значения отношения несущая-шум и отношения мощности несущей к спектральной плотности мощности шума для приемной станции "Москва". По результатам измерений определить запас по порогу в системе "Москва".
7. Пояснить назначение и структурную схему имитатора сигнала ретранслятора. По результатам измерений определить крутизну частотного демодулятора приемной стойки "Москва". Рассчитать коэффициент передачи видеотракта, образованного имитатором и приемной стойкой.
8. Пояснить методику измерения отношения сигнал-шум в системе "Москва". В чем проявляется влияние взвешивающего фильтра? Какие меры целесообразно принять в практических случаях для увеличения отношения сигнал-шум?
9. Сравнить спутниковые службы связи РВСС и ФСС.
10. Пояснить меры по защите от несанкционированного приёма ТВ программ в ФСС.
11. Пояснить значение терминов: «косвенное распределение» и «непосредственное распределение», а также «коллективный и индивидуальный прием».
12. Пояснить схему организации распределительной спутниковой системы "Москва" (рис.10.2). Какие типы ЗС в неё входят?
13. На основе рис.10.3 пояснить назначение сигналов дисперсии.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная:*

1. Приложения к работе.
2. ОСТ 45.124-2000. Службы связи спутниковые: фиксированная, радиовещательная и подвижная. Термины и определения.
3. Спутниковые сети связи: Учебное пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М.: «Альпина Паблишер», 2004г., стр.11-41, 127, 350-366.

### *Дополнительная:*

4. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1987. с. 90-91, 105-117, 146-148.
5. Сайты в Интернете:  
[www.rscs.ru/space](http://www.rscs.ru/space)  
[tv-system.ru/content/view](http://tv-system.ru/content/view)

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Включить приемную стойку 3С "Москва", для чего на обоих блоках питания «БП-12 , 6-2» поставить тумблеры в положение «ВКЛ.». Включить осциллограф, генератор и вольтметр.**

### *Снятие зависимости отношения сигнал-шум от девиации частоты*

#### *Методика измерений*

При измерениях используется имитатор сигнала ретранслятора, который формирует ЧМ сигнал с центральной частотой 70 МГц. В качестве модулирующего сигнала используется синусоидальное колебание частотой 1,5 МГц с размахом напряжения  $U_{р.вх}$  (удвоенной амплитудой), равным размаху сигнала изображения реального ТВ сигнала без учета синхроимпульсов. Сформированный в имитаторе ЧМ сигнал с заданными параметрами вводится в тракт ПЧ приемной стойки на блоке ПР "Москва".

Зависимость отношения сигнал-шум [с/ш] на выходе канала от размаха девиации частоты  $\Delta f_p$  снимается, при нескольких значениях отношения несущая-шум [н/ш] на входе приемника, для установки которых на выходе имитатора включен калиброванный аттенюатор АТ.

#### Установка требуемого значения $\Delta f_p$

Девиация частоты ЧМ сигнала на выходе модулятора с крутизной  $K_m$  связана с напряжением модулирующего сигнала на его входе следующим соотношением:

$$\Delta f = K_m \cdot U_{вх} , \text{ МГц.} \quad (10.1)$$

Для установки требуемого значения размаха девиации частоты  $\Delta f_p$  на выходе имитатора необходимо на его вход подать напряжение с размахом:

$$U_{р.вх} = \Delta f_p / K_m , \text{ В.} \quad (10.2)$$

В лабораторной работе для измерения напряжения на входе имитатора используется вольтметр, измеряющий эффективное напряжение:

$$U_{э.вх} = U_{р.вх} / 2\sqrt{2} , \text{ В.} \quad (10.3)$$

Следовательно, для получения требуемого значения  $\Delta f_p$  надо установить напряжение:

$$U_{э.вх} = \Delta f_p / (K_m \cdot 2\sqrt{2}) , \text{ В,} \quad (10.4)$$

где  $K_m = 35 \text{ МГц/В}$ .

Установка требуемого значения [н/ш] проводится изменением уровня несущей ЧМ сигнала на выходе имитатора с помощью калиброванного аттенюатора, установленного в нижней части стойки. При этом уровень шума на входе демодулятора приемной стойки остается постоянным. Уровень сигнала непосредственно на выходе имитатора

обеспечивает отношение несущая-шум, равное 40 дБ. Таким образом, для установки требуемого значения [н/ш] следует ввести затухание аттенюатора:

$$a = 40 - [н/ш], \text{ дБ.} \quad (10.5)$$

### Измерение отношения [с/ш]

При передаче ТВ сигналов для оценки качества используют отношение сигнал-шум на выходе канала:

$$[с/ш] = 20 \log(U_{р.вых} / U_{ш.э}), \text{ дБ,} \quad (10.6)$$

где  $U_{р.вых}$  - размах напряжения сигнала изображения без учета синхроимпульсов (от уровня "белого" до уровня гасящих импульсов);

$U_{ш.э}$  - эффективное (действующее) напряжение шума на выходе.

В лабораторной работе для измерения напряжений сигнала и шума используется осциллограф с калиброванным усилением вертикального отклонения луча. Вначале на выходе канала измеряется размах напряжения  $U_{р.вых}$  соответствующий установленному значению  $\Delta f_p$ .

Затем в тракте имитатора отключается модулирующий сигнал. При этом на выходе канала будет лишь напряжение шумов, которые на экране осциллографа наблюдаются в виде светящейся "размытой" полосы с хаотически возникающими сверху и снизу выбросами (см. рис. 10.1).



Рис.10.1. К измерению напряжения шума

Измерение напряжения шумов сводится к приближенному измерению размаха этой "размытой" полосы, который с учетом калибровки усиления осциллографа соответствует квазипиковому напряжению шума  $U_{ш.кп}$ . В свою очередь квазипиковое напряжение связано с эффективным с помощью пик-фактора  $\alpha = U_{ш.кп} / U_{ш.э}$ , который для тепловых шумов с достаточной точностью можно считать равным  $\alpha = 7$ .

С учетом вышесказанного получаем:

$$[с/ш] = 20 \log(4,9 U_{р.вых} / U_{ш.кп}), \text{ дБ.} \quad (10.7)$$

### *Порядок измерений*

1.1. Последовательно задавая значения  $\Delta f_p$ , по формуле (10.4) рассчитать соответствующие значения  $U_{э.вх}$  и занести их в табл. 10.1. При этом рекомендуется задавать значения  $\Delta f_p = 6, 12, 18, 24$  МГц (значение  $\Delta f_p = 18$  МГц, используется в системе "Москва"). Значения  $\Delta f_p$  нужны для расчетов значения  $U_{э.вх}$  и на лабораторном стенде не выставляются.

1.2. Последовательно задавая четыре значения [н/ш], рассчитать по формуле (10.5) соответствующие значения  $a$  и занести их в табл. 10.1. При этом задать  $[н/ш] = 10, 15, 20, 25$  дБ.

**Проверить схему соединения (пункты 1.3-1.4):**

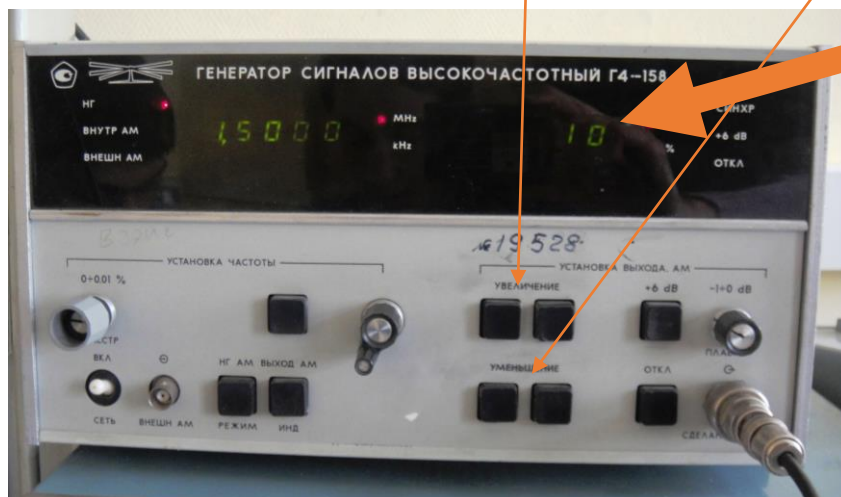
1.3. Подать сигнал с выхода имитатора в тракт ПЧ приемной стойки, для чего соединить коаксиальным кабелем гнездо "Выход" на блоке аттенюатора АТ в тракте имитатора с гнездом "Вход сигн. от имитатора" на блоке ПР стойки.

1.4. Подключить к выходу видеотракта осциллограф, для чего соединить его с гнездом "Выход" на блоке взвешивающего фильтра, вход которого должен быть подключен к гнезду "Видео 1" на блоке ТЛВ стойки.

1.5. Установить на генераторе Г4-158, соединенном со входом имитатора, частоту 1,5 МГц (так, как показано на фото и не изменять это значение в ходе лабораторной работы).

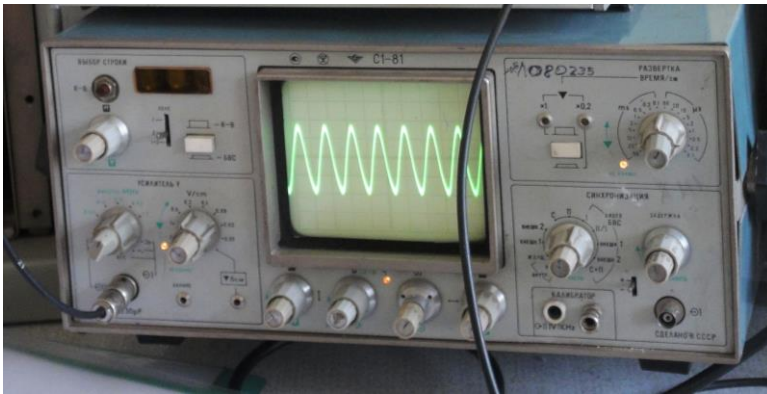


1.6. Подать модулирующее напряжение на вход имитатора, для чего нажать кнопку «ОТКЛ» на панели генератора Г4-158. При этом на дисплее погаснет индикатор «ОТКЛ», а на осциллографе появится синусоидальное напряжение. Затем с помощью клавиш генератора УВЕЛИЧЕНИЕ и УМЕНЬШЕНИЕ



установить такое значение модулирующего напряжения (оно подбирается экспериментальным путем), чтобы на вольтметре получилось значение  $U_{э.вх}$  рассчитанное в п. 1.1 для  $\Delta f_p = 6 \text{ МГц}$ .

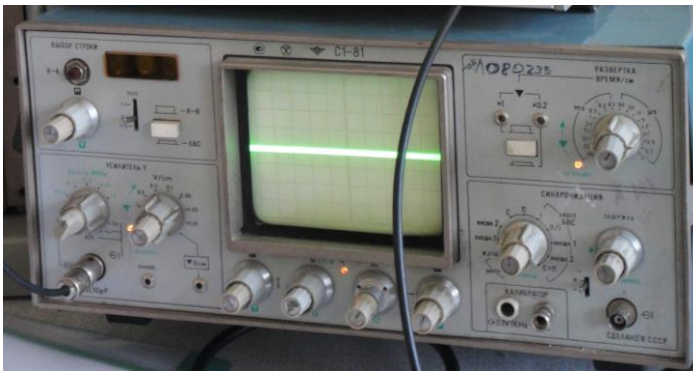
1.7. Используя калибровку вертикального усиления осциллографа (ручка «V/Дел»), измерить размах (удвоенную амплитуду) синусоидального напряжения на выходе  $U_{р.вых}$  и занести его значение в табл. 10.1. Если нет четкого изображения синусоидального сигнала, то использовать ручку «Уровень».



1.8. Отключить модулирующее напряжение от входа имитатора, для чего на генераторе нажать кнопку "ОТКЛ.". Если «ОТКЛ» нажать, то сигнал пропадает, остаются только шумы (размытая полоса на экране осциллографа).



1.9. Увеличить вертикальное усиление осциллографа до появления на экране светящейся "размытой" полосы, вызванной напряжением шумов. Используя калибровку вертикального усиления (V/Дел), измерить квазипиковое напряжение шума  $U_{ш.кп}$  на выходе канала изображения с точностью до одного деления шкалы. Записать измеренное значение  $U_{ш.кп}$ .



1.10. Поочередно устанавливая значения затухания  $\alpha$  (на блоке аттенюатора  $At$ , см. фото), рассчитанные в п. 1.2, повторить п. 1.9. Занести измеренное значение  $U_{ш.кп}$  в табл. 10.1.



1.11. Поочередно устанавливая рассчитанные в п. 1.1 значения  $U_{э.вх}$ , повторить пп.1.6...1.10. (убрать это предложение, оставив пояснения ниже)

Установить значения  $U_{э.вх}$ , рассчитанное для следующего значения девиации частоты  $\Delta f_p = 12 \text{ МГц}$ . Для этого убрать все вносимые затухания  $a$ . Далее нажать на панели генератора кнопку «ОТКЛ», на осциллографе появится синусоидальное напряжение. Кнопками «УВЕЛИЧЕНИЕ» и «УМЕНЬШЕНИЕ» экспериментально выставить необходимое модуляционное напряжение, чтобы на вольтметре появилось рассчитанное значение  $U_{э.вх}$  для  $\Delta f_p = 12 \text{ МГц}$ .

После этого нажать «ОТКЛ» на панели генератора, синусоидальное напряжение пропадет, останутся только шумы на экране осциллографа. Повторить пункт 1.10.

Повторить пункт 1.11 для остальных значений  $U_{э.вх}$ .

1.12. Показать преподавателю результаты измерений.

1.13. По формуле (10.7) рассчитать значения отношения сигнал-шум  $[с/ш]$  для всех вариантов значений размаха девиации частоты  $\Delta f_p$  и отношения несущая-шум  $[н/ш]$ . Результаты расчета занести в табл. 10.1 и построить графики зависимости  $[с/ш]$  от  $[н/ш]$  для различных значений  $\Delta f_p$ . Все графики построить в одной координатной сетке.

Таблица 10.1

$\Delta f_p$ , МГц	$U_{э.вх}$ , мВ	$U_{р.вых}$ , мВ	$a$ , дБ	$[н/ш]$ , дБ	$U_{ш.кп}$ , мВ	$[с/ш]$ , дБ



*Принцип организации спутникового вещания*

Использовать Искусственный Спутник Земли (ИСЗ) для передачи телевизионных (ТВ) программ стали после первых запусков спутников связи. Именно с ТВ трансляции из Владивостока в Москву началась эксплуатация первого в мире спутника связи «Молния», день его вывода на орбиту - 23 апреля 1965 г. Вскоре была поставлена задача обеспечить прием ТВ программ непосредственно на индивидуальные приемники метрового и дециметрового диапазонов.



Рис.10.1. Организация вещания через ИСЗ

Спутниковое вещание (рис.10.1) осуществляется следующим образом. На Земле формируется источник сигнала, он может быть видео сигналом, аудио, может быть сигналом каких-либо данных, например, Интернет. Далее этот сигнал передается на конкретный спутник. Спутник принимает этот сигнал. Далее, получив сигнал, пришедший с Земли, спутник выполняет роль ретранслятора, т.е. он вещает этот же сигнал в

определенном направлении, на определенной частоте. Делает он это с помощью приемопередатчиков, называемых транспондерами. Этот сигнал принимается спутниковыми антеннами, расположенными на Земле и, обрабатываясь специальными приемниками (ресиверами), попадает в телевизоры, компьютеры и т.д.

### ***Сравнение спутниковых служб РВСС и ФСС***

Международный Союз Электросвязи (МСЭ или ITU) принял решение о выделении радиовещательной спутниковой службе (РВСС) для спутникового ТВ вещания специальной полосы частот в диапазоне 12 ГГц. В 1977 г. Был разработан и принят Международный план спутникового ТВ вещания. В этом диапазоне для стран районов 1 и 3 (для стран района 2 план был принят в 1983 г.), в котором определены позиции ИЗС на геостационарной орбите, частотные каналы, зоны обслуживания, уровни сигналов и помех и другие параметры. План составлен исходя из определения: РВСС - спутниковая служба, в которой сигналы, передаваемые или ретранслируемые космическими станциями, предназначены для непосредственного приема населением [2]. Понятие международного вещания в плане не рассматривается.

Для международного распределения ТВ программ начали использоваться системы фиксированной спутниковой службы (ФСС). Из выделенных регламентом радиосвязи для систем ФСС диапазонов практическое применение для передачи ТВ сигналов получили полосы 4 и 11-12 ГГц. По своему статусу ФСС первоначально определялась как ФСС - спутниковая служба, которая использует земные станции с заданным местоположением и один или несколько спутников (fixed satellite service; FSS) [2].

Однако по мере развития техники и переходе на цифровое вещание земные станции ФСС, предназначенные только для приема сигналов, упростились, их габариты уменьшились, при необходимости предотвратить несанкционированный прием стали использовать кодирование (scrambling) ТВ сигнала, а для безыскаженного воспроизведения изображения на приеме — соответствующий декодер. Кодирование обеспечивает как защиту авторских прав, так и организацию платного (коммерческого) телевидения. Все это привело к широкому использованию систем ФСС для передачи ТВ программ на большую сеть простых приемных ЗС. Были изменены международные правовые положения по использованию ФСС и введено понятие *спутниковое распределение* - подача программ телевидения и звукового вещания посредством спутника связи на радиопередающие станции, головные станции кабельного телевидения, станции проводного звукового вещания (distribution by satellite) [2], а также два новых термина: «прямое спутниковое распределение» и «косвенное спутниковое распределение».

*Прямое спутниковое распределение* - использование спутниковых линий фиксированной спутниковой службы для ретрансляции радиовещательных программ от одного или нескольких источников на приемные земные станции для непосредственной подачи на наземные радиовещательные станции или на головные станции кабельных распределительных систем (direct distribution by satellite) [2].

*Косвенное спутниковое распределение* - использование спутниковых линий фиксированной спутниковой службы для ретрансляции радиовещательных программ от одного или нескольких источников на приемные земные станции для дальнейшего распределения по наземным линиям на радиовещательные станции или на головные станции кабельных распределительных систем [2].

Существуют понятия индивидуальный и коллективный прием.

*Индивидуальный прием* спутникового телевидения - прием программ спутникового телевидения непосредственно бытовыми радиоприемными установками (individual reception of satellite television) [2].

*Коллективный прием* спутникового телевидения - прием программ спутникового телевидения радиоприемными установками и подача их на маломощные передатчики или в кабельную распределительную систему для обслуживания некоторой ограниченной зоны [2].

Параметры канала передачи в диапазоне ФСС, как правило, идентичны с принятыми в диапазоне РВСС, что позволяет унифицировать многие схемные и конструктивные решения земных приемных станций. План частот для РВСС регламентирует номиналы частот каналов - ширину их полосы и величины поднесущих частот звукового сопровождения, а в диапазоне ФСС такого нет. Для передачи сигналов звукового сопровождения и различной информации используется полоса 6... 9 МГц, в которой применяется до сорока значений поднесущих частот и шесть пар различных номиналов частот для обеспечения стереофонического звучания.

Тенденция существенного увеличения использования странами каналов РВСС по плану НТВ-12 сегодня не наблюдается. В странах Американского континента преимущественно используется диапазон ФСС 4 ГГц, а в Европейских государствах — 11... 12 ГГц.

### ***Распределительная спутниковая система „МОСКВА“***

В 1979 г. была введена в эксплуатацию аналоговая распределительная спутниковая система „Москва“ в диапазоне «С» 6/4 ГГц. Подача ТВ программ на ИСЗ велась в диапазоне 6 ГГц, а на сеть приемных ЗС в диапазоне 4 ГГц через несколько ИСЗ „Горизонт“, которые располагались на геостационарных орбитах в точках 53, 90 и 140° в.д.

В 1980 г. был запущен многоствольный ИСЗ «Горизонт», имевший специальный мощный (40-ваттный) передатчик диапазона 4 ГГц для передачи ТВ сигналов на относительно простые приемные ЗС системы «Москва», устанавливаемые вместе с ретрансляторами различной мощности. На ИСЗ «Горизонт» имелся также один ствол диапазона 11 ГГц (ФСС), применяемый для передачи ТВ программ. Использование систем «Экран» и «Москва» (9 ИСЗ) позволило организовать распределение двух ТВ программ, формируемых в Москве по всей территории бывшего СССР с учетом временного сдвига для вещания в удобное для зрителей время. В дальнейшем ИСЗ «Горизонт» заменили ИСЗ серии «Экспресс».

В настоящее время для организации цифрового вещания на всей территории России используются действующие спутники ФГУП КС: "Экспресс-А4"(14 з.д.), "Экспресс-А2" (103 в.д.), "Экспресс-АМ44" (11 з.д.), "Экспресс-АМ1" (40 в.д.), "Экспресс-АМ2" (80 в.д.) "Экспресс-АМ33" (96,5 в.д.), "Экспресс-АМ3" (140 в.д.), "Экспресс-МД1" (80 в.д.).

В дальнейшем к вышеперечисленным спутникам могут добавиться перспективные спутники ФГУП КС: Экспресс-АМ4R(80 в.д.), Экспресс-МД2 (145 в.д.), Экспресс-АМ8 (14 з.д.), Экспресс-АМ5 (140 в.д.), Экспресс-АМ6 (53 в.д.), Экспресс-АМ9 (103 в.д.), Экспресс-АМ7 (40 в.д.).

Система "Москва" (рис.10.2) предназначена для распределения и подачи на пункты наземной сети в аналоговом виде с использованием частотной модуляции сигналов (ЧМ) центральной программы ТВ со звуковым сопровождением и одной программой звукового вещания. Система "Москва" работает в диапазоне 6/4 ГГц, выделенном для фиксированных спутниковых служб связи. Распределительная ТВ система «Москва» с приемом на сравнительно простые ЗС в диапазоне 4 ГГц не требует постоянного квалификационного обслуживания.

В состав системы в целом входят:

- передающая ЗС, предназначенная для подачи программ вещания на спутник в диапазоне 6 ГГц;
- ряд многофункциональных спутников "Экспресс", расположенных в различных точках геостационарной орбиты. Повышенная до 40 Вт мощность бортового передатчика в сочетании с узконаправленной бортовой передающей антенной обеспечивает максимально допустимое значение эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ);
- сеть профессиональных приемных станций "Москва", настроенных на частоту 3675 МГц, которая используется в 6-ом стволе (транспондере) спутников "Экспресс" на участке "спутник - Земля" (участок "вниз").

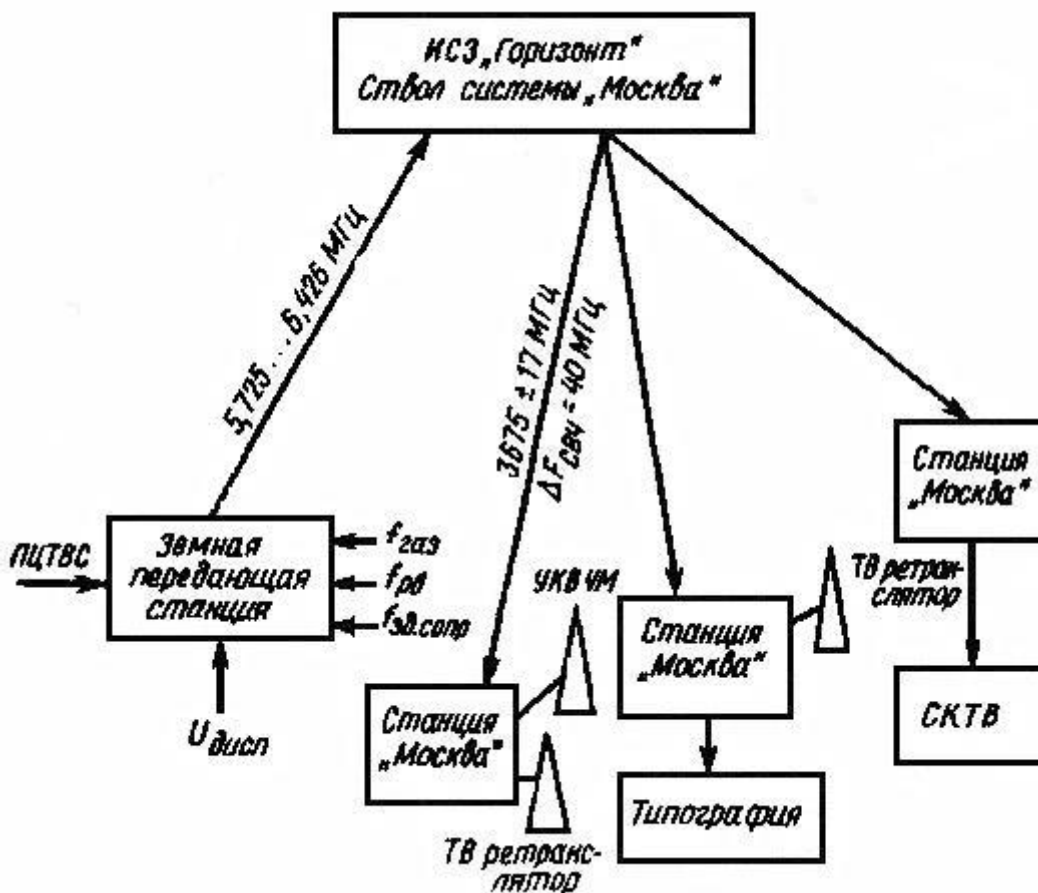


Рис.10.2. Распределительная спутниковая система "Москва"

Общая пиковая девиация частоты в системе «Москва» составляет  $\pm 15$  МГц ( $\pm 13$  МГц для ТВ сигнала и  $\pm 1$  МГц для сигналов звукового сопровождения и радиовещания, передаваемых методом ЧМ на поднесущих частотах 7 и 7,5 МГц с девиацией  $\pm 150$  кГц). На поднесущей частоте 8,2 МГц можно организовать передачу изображения газетных полос.

В комплект приемной станции может входить местный телецентр, ТВ ретранслятор мощностью 1, 10 или 100 Вт или устройство для работы на кабельную сеть (СКТВ). Использование станции в комплексе с передатчиком мощностью 100 Вт эффективно практически для любого населенного пункта страны.

Разработан также перевозимый вариант приемной станции «Москва». Все оборудование перевозимой станции размещается в кузове от грузового автомобиля.

Особенностью системы „Москва“ является то, что для электромагнитной совместимости её с существующими наземными и спутниковыми средствами было

использовано искусственное рассеяние мощности путем дисперсии несущей. Это позволило соблюсти установленные нормы на допустимую спектральную мощность потока (-152 дБВт/ м<sup>2</sup> в полосе 4 кГц) при высокой интегральной плотности потока мощности у поверхности Земли -120 дБВт/ м<sup>2</sup>. В зону, обслуживаемую одним ИСЗ, входят 2 ... 3 часовых пояса, т. е. ее размер выбран с учетом принятых принципов организации многозонового ТВ и звукового вещания.

Для уменьшения спектральной плотности мощности ЧМ сигнала на передающей стороне на вход частотного модулятора вводится специальный сигнал дисперсии Удисп с треугольной формой напряжения. При этом девиация частоты несущей за счет сигнала дисперсии в значительной степени уменьшается до 8 МГц ( $\pm 4$  МГц), а его частота выбрана равной 2,5 Гц. Полосу приемника рассчитывают на пропускание ЧМ сигнала, модулированного только полезным сообщением. В результате спектр ЧМ сигнала становится почти равномерным в пределах всей занимаемой полосы частот 34 МГц ( $\pm 17$  МГц). Спектральная плотность мощности в пределах полосы 4 кГц снижается более чем на 30 дБ.

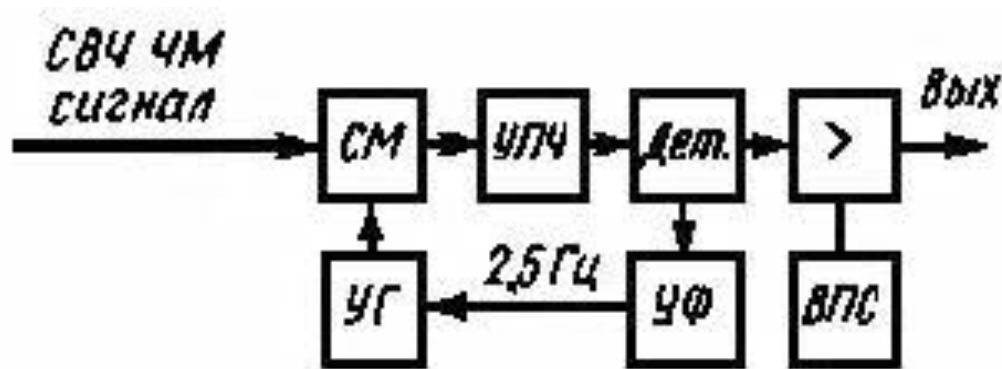


Рис.10.3. Структурная схема устройства с ОСЧ

Сигнал дисперсии в приемнике эффективно выводится с помощью устройства узкополосной обратной связи по частоте (ОСЧ) (рис.10.3). Выбранное значение частоты дисперсии позволяет отделить его от ТВ сигнала и замкнуть цепь обратной связи (См — УПЧ — демодулятор Дм — узкополосный фильтр УФ — управляемый гетеродин УГ) только по сигналу дисперсии. Остаточный сигнал дисперсии удаляется путем применения схем восстановления постоянной составляющей сигнала (ВПС), что позволяет подавить уровень сигнала дисперсии на 45 дБ на выходе канала изображения.

*Основные технические параметры системы "Москва":*

Диапазон частот, ГГц .....	4
Мощность передатчика ИСЗ, подводимая к антенне, Вт .....	40
Коэффициент усиления передающей антенны ИСЗ, дБ .....	30
Шумовая температура Тш приемной станции, К .....	200
Коэффициент усиления антенны приемной станции, дБ .....	37,5
Метод модуляции .....	ЧМ
Отношение сигнал/взвешенный шум на выходе приемника в канале изображения, дБ .....	53
Отношение сигнал/шум на выходе приемника в канале звукового сопровождения, дБ .....	57

Внешний вид приёмопередающей антенны системы «Москва» показан на рис.10.4.



Рис.10.4. Спутниковая приёмопередающая антенна С-диапазона

Наиболее благоприятным по расположению на геостационарной орбите для ЗС «Москва», находящейся в г.Москве, является спутник «Экспресс-АМ1» в позиции 40° в.д. Ниже приводятся его технические данные.

*Технические характеристики спутника "Экспресс-АМ1"*

Космический аппарат "Экспресс-АМ1" введен в эксплуатацию 01.02.2005 на геостационарной орбите в позиции 40° в.д. с точностью удержания на орбите  $\pm 0,05^\circ$  (в направлении север-юг / запад-восток). Срок активного существования (САС) = 12 лет.

Спутник "Экспресс-АМ1" предназначен для предоставления пакета мультисервисных услуг (цифровое телерадиовещание, телефония, видеоконференцсвязь, передача данных, доступ к сети Интернет), а также для создания сетей связи на основе технологии VSAT.

Спутник "Экспресс-АМ1" оборудован самыми современными антенными системами, что обеспечивает высокое качество связи и равномерность зон покрытия в С- и Ku- диапазонах.

	С-диапазон	Ku-диапазон	L-диапазон
Количество транспондеров	9	18	1
Полоса пропускания, МГц	40	54	0,5
Выходная мощность, Вт (количество транспондеров)	40(8) 120(1)	95-100	30

На рис.10.5 приведены зоны покрытия спутника «Экспресс-АМ1» по уровням ЭИИМ.

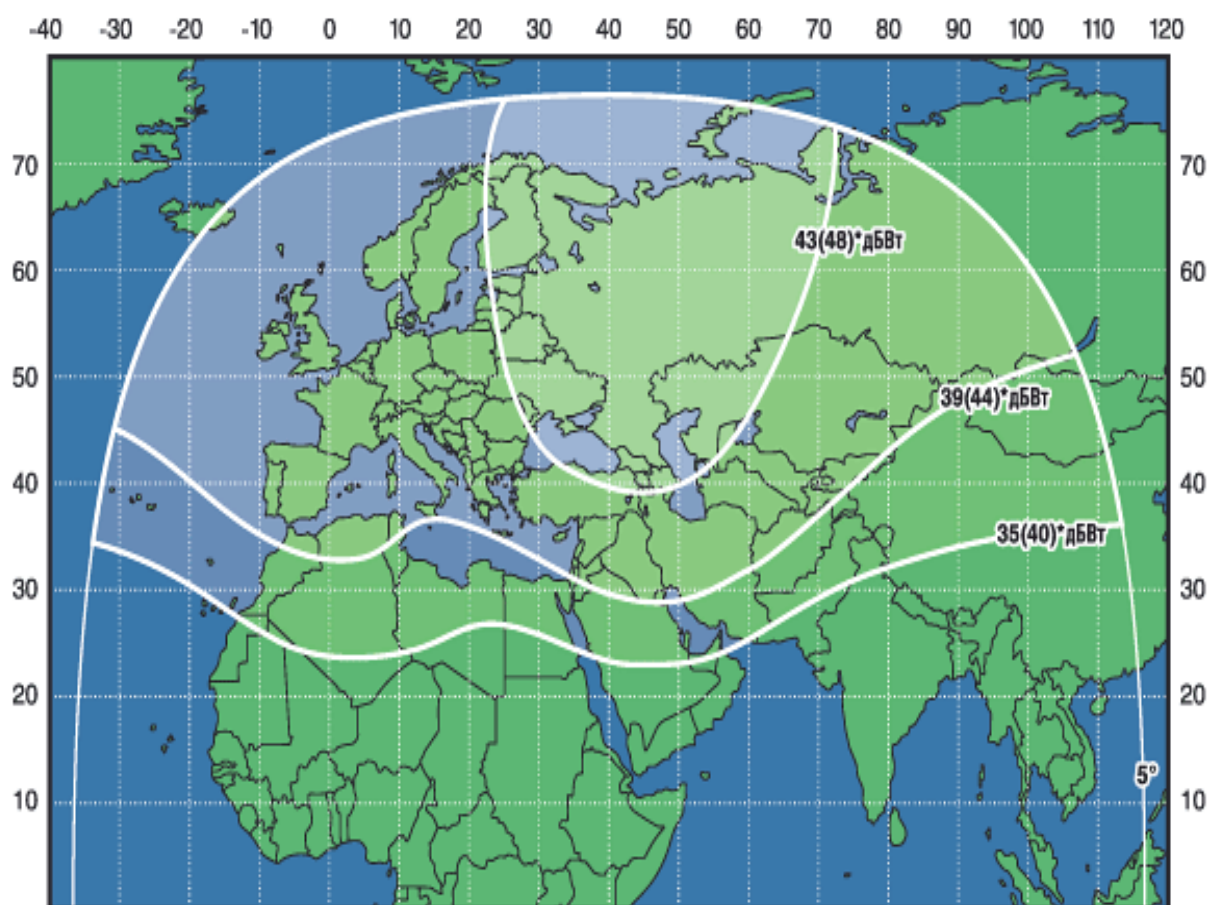


Рис.10.5. Покрывение на линии вниз, С - диапазон, значение ЭИИМ  
для 6-го транспондера КА «Экспресс-АМ1»  
*Функциональная схема приёмной ЗС «Москва»*

На рис.10.6. приведена функциональная схема приемной ЗС «Москва».

Приемная параболическая однозеркальная антенна ЗС «Москва» имеет небольшой диаметр зеркала **da = 2,5 метра** и массу не более 400 кг; а также ширину диаграммы направленности  $\pm 2,5^\circ$  по уровню половинной мощности. Эта антенна обеспечивает прием сигнала с круговой правой поляризацией на рабочей частоте 6-го ствола спутника серии «Экспресс» **3675 МГц**. Предусмотрена грубая и плавная ручная установка луча антенны по азимуту и углу места, а также возможность дооборудования следящим приводом. Шумовая температура антенны **Ta = 80К** при углах места не менее  $5^\circ$ . В качестве входного приемного устройства (МПУ) может быть параметрический или транзисторный усилитель. В данной аппаратуре приемной ЗС «Москва» применяется МПУ на полевых транзисторах с барьером Шоттки, расположенный непосредственно у облучателя антенны с температурой шума **Tмшу = 100К** и коэффициентом усиления 40 дБ. Все остальное радиотехническое оборудование размещается в небольшой стойке, куда сигнал поступает по кабелю.

Основные блоки стойки: блок преобразования частоты (ПР), телевизионный блок (ТЛВ), блок обработки сигналов звукового сопровождения (ЗВ) и блок обработки сигналов радиовещания (РВ).

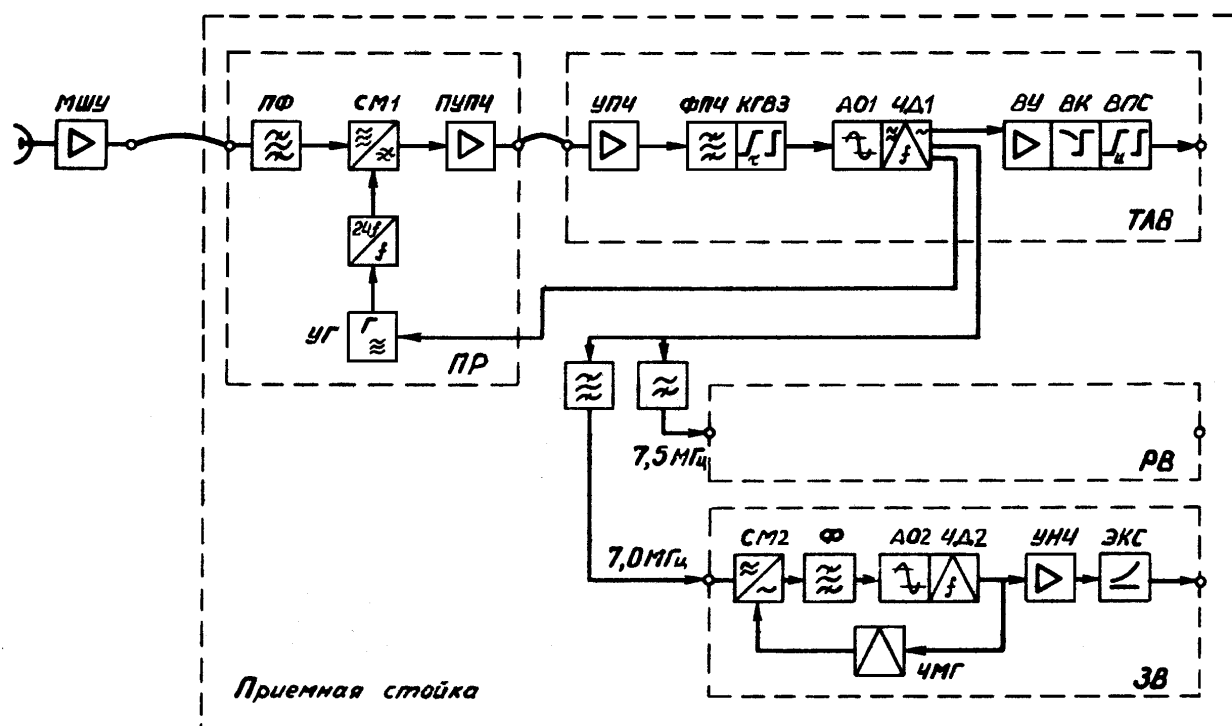


Рис.10.6. Функциональная схема приёмной станции «Москва»

#### Блок ПР

Принятый антенной и усиленный в МШУ ЧМ сигнал ретранслятора с центральной частотой 3675 МГц поступает на вход блока ПР, где осуществляется его преобразование в сигнал промежуточной частоты  $f_{пч} = 70 \text{ МГц}$ . На входе блока ПР включен полосовой фильтр (ПФ), обеспечивающий избирательность по зеркальному каналу и выполненный на базе полосковых линий с воздушным заполнением. В качестве гетеродинного преобразователя частоты используется полосковый балансный смеситель (СМ1) на диодах с барьером Шоттки. На второй его вход поступает сигнал от управляемого гетеродина (УГ), выполненного по схеме ёмкостной трёхточки с центральной частотой  $f_{уг} = 150,2 \pm 0,15 \text{ МГц}$ . Эта частота, пройдя через умножитель  $\{24f/f\}$ , доводится до значения частоты, нужного для получения на выходе СМ1 сигнала промежуточной частоты. С выхода предварительного усилителя промежуточной частоты (ПУПЧ) ЧМ сигнал поступает в блок ТЛВ.

В блоке ТЛВ происходит усиление сигнала в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), обеспечение требуемой избирательности по соседнему каналу в фильтре промежуточной частоты (ФПЧ) с полосой пропускания  $\Pi_{пч} = 37 \text{ МГц}$ , а также коррекция характеристики группового времени запаздывания (КГВЗ) и паразитной амплитудной модуляции в АО1. Значение  $\Pi_{пч}$  определяет шумовую полосу приёмника  $\Pi_{ш.пр} = \Pi_{пч}$ . Частотный дискриминатор на расстроенных контурах (ЧД1) обеспечивает высокую линейность характеристики при девиации частоты  $\pm 25 \text{ МГц}$ . С выхода ЧД1 видеосигнал поступает на видеоусилитель (ВУ), а сигналы радиовещания и звукового сопровождения поступают в блоки РВ и ЗВ соответственно. В ВУ происходит усиление видеосигнала до напряжения 1В и подавление с помощью режекторного фильтра поднесущих ЗВ и РВ. Далее видеосигнал проходит восстанавливающий контур (ВК) и схему восстановления («привязки») постоянной составляющей (ВПС).

Блок ЗВ и РВ работают аналогично. Здесь имеются порогонизающие демодуляторы поднесущих 7 МГц и 7,5 МГц на частоты 1,8 и 2,2 МГц соответственно. С помощью смесителя СМ2 происходит гетеродинное преобразование. Для его



осуществления используется частотно-модулированный генератор (ЧМГ), управляемый по цепи обратной связи сигналом с выхода демодулятора поднесущей. В результате на выходе СМ2 девиация частоты уменьшается в 5 раз, что позволяет в 5 раз сузить шумовую полосу на входе частотного демодулятора (ЧД2) и тем самым получить выигрыш по пороговым шумам около 5 дБ. Между СМ2 и ЧД2 происходит фильтрация сигнала в полосовом фильтре Ф и коррекция паразитной амплитудной модуляции в АО2. Далее сигнал усиливается в усилителе низкой частоты (УНЧ). В управляемом экспандере (ЭКС) происходит восстановление исходного динамического диапазона сигналов ЗВ и РВ, в результате чего отношение сигнал-шум на выходе звукового и радиовещательного каналов возрастает на 15 ... 18 дБ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### *Расчёт геометрических параметров спутниковой линии связи*

Задачей геометрического расчёта является определение геометрических соотношений для спутниковой линии связи (СЛС). В данной лабораторной работе эти соотношения определяются для линии «вниз», т.е. на участке ИСЗ → ЗС приёмная. Приёмная земная станция расположена в г.Москве. Её координаты: долгота  $\lambda_{зс} = 37,8$  град.в.д. и широта  $\varphi_{зс} = 55,5$  град.с.ш. Координаты ИСЗ заданы в исходных данных.

Относительная долгота подспутниковой точки ( $\Delta\lambda$ ):

$$\Delta\lambda = \lambda_{зс} - \lambda_{кс}, \text{ град} \quad (10.8)$$

Протяженность (наклонная дальность) линии связи

$$d = \sqrt{r^2 + R^2 - 2 R r \cos \varphi_{зс} \cdot \cos \Delta\lambda}, \text{ км}, \quad (10.9)$$

где  $R$  – средний географический радиус Земли ( $R = 6371$  км);

$$r - \text{длина линии SO или радиус орбиты}, \quad r = R + H, \text{ км} \quad (10.10)$$

$H$  – высота орбиты ( $H_{го} = 35794$  км)

Угол места  $\beta$ :

$$\beta = \arctg [(\cos \alpha - R/r) / \sin \alpha], \text{ град} \quad (10.11)$$

где  $\alpha$  - центральный угол (угол между радиусами ОА и ОР):

$$\alpha = \arccos (\cos \varphi_{зс} \cdot \cos \Delta\lambda), \text{ град} \quad (10.12)$$

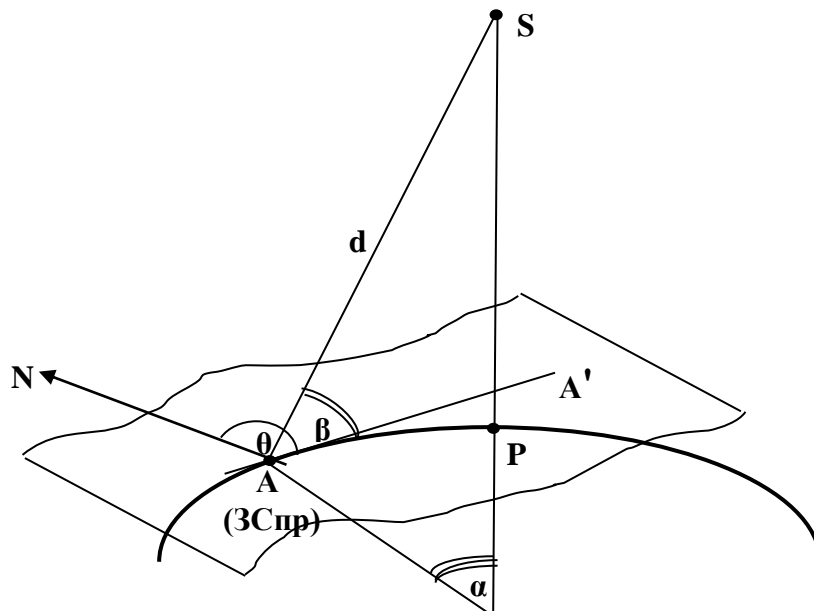


Рис.10.5. К геометрическим расчётам

Азимут антенны для ЗС, расположенных в северном полушарии определяется по формулам:

- для ЗС, расположенных западнее подспутниковой точки (Р), т.е.  $\Delta\lambda < 0$ :

$$\theta = 180^\circ - \theta_1, \text{ град}; \quad (10.13)$$

- для ЗС, расположенных восточнее подспутниковой точки (Р), т.е.  $\Delta\lambda \geq 0$ :

$$\theta = 180^\circ + \theta_1, \text{ град}, \quad (10.14)$$

$$\text{где} \quad \theta_1 = \arccos(\operatorname{tg} \varphi_{\text{ЗС}} / \operatorname{tg} \alpha), \text{ град} \quad (10.15)$$

### *Энергетический расчет спутниковой линии связи*

Задачей энергетического расчета является определение основных энергетических параметров, обеспечивающих требуемое качество передачи сигналов по СЛС. К энергетическим параметрам относятся: мощность передатчика  $P_{\text{п}}$ , коэффициент усиления приёмной  $G_{\text{пр}}$  ( $g_{\text{пр}}$ ) и передающей  $G_{\text{п}}$  ( $g_{\text{п}}$ ) антенн, эффективная шумовая температура (ЭШТ) приёмного устройства в целом  $T_{\text{сум}}$ , а также два обобщённых параметра: эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) передающей  $P_{\text{э}}$  и добротность приёмной  $[G/T]$  систем.

ЭИИМ наиболее полно характеризует энергетический потенциал передающей станции и определяется:

$$P_{\text{э}} = G_{\text{п}} \cdot P_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{п}}, \text{ Вт}, \quad (10.16)$$

где  $G_{\text{п}}$  – коэффициент усиления передающей антенны в размах;

$P_{\text{п}}$  – мощность передатчика в ваттах;

$\eta_{\text{п}}$  – КПД антенно-фидерного тракта.

$$\text{или} \quad p_{\text{э}} = g_{\text{п}} + 10 \log(P_{\text{п}}) - a_{\text{п}}, \text{ дБВт}, \quad (10.17)$$

где  $g_{\text{п}}$  – коэффициент усиления передающей антенны в дБ,  $g_{\text{п}} = 10 \lg(G_{\text{п}})$ ;

$P_{\text{п}}$  – мощность передатчика в ваттах;

$a_{\text{п}}$  – потери в антенно-фидерном тракте,  $a_{\text{п}} = -10 \lg(\eta_{\text{п}})$ .

Энергетический потенциал приёмной станции характеризует добротность (параметр качества):

$$[G/T] = g_{\text{пр}} - 10 \log(T_{\text{сум}}), \text{ дБ/К}, \quad (10.18)$$

где  $g_{\text{пр}}$  – коэффициент усиления приёмной антенны, в дБ,

$T_{\text{сум}}$  – ЭШТ приёмного устройства в целом, приведённая к облучателю антенны, в градусах по шкале Кельвина (К).

Для используемых в спутниковой связи параболических антенн земных станций коэффициент усиления можно рассчитать:

$$g_{зс} = 20 \log d_a + 20 \log f + 18.45, \text{ дБ}, \quad (10.19)$$

где  $d_a$  – диаметр раскрыва внешнего зеркала антенны, в метрах,

$f$  – частота в ГГц.

Коэффициент усиления передающей антенны спутника при известной круговой ширине диаграммы направленности  $\phi$  можно рассчитать:

$$g_{кс} = 45 - 20 \log \phi, \text{ дБ}, \quad (10.20)$$

где  $\phi$  – ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) в одной плоскости, в градусах.

В процессе энергетического расчёта требуется связать энергетические параметры СЛС с качеством связи, которое удобно определять отношением мощности сигнала к мощности шума на входе приемника  $[Н/Ш]_{вх}$ . Уравнение связи для одного участка СЛС имеет вид:

$$[Н/Ш]_{вх} = p_{э} - L_p + [G/T] + 228.6, \text{ дБГц}, \quad (10.21)$$

где  $L_p$  – ослабление сигнала на участке СЛС.

$$L_p = L_o + L_{доп}, \text{ дБ}, \quad (10.22)$$

где, в свою очередь,  $L_o$  – потери энергии при распространении сигнала в свободном пространстве:

$$L_o = 20 \log d + 20 \log f + 92.45, \text{ дБ}, \quad (10.23)$$

где  $d$  – наклонная дальность линии связи;

$f$  – рабочая частота, ГГц.

Дополнительные потери  $L_{доп}$  зависят от используемого диапазона частот и угла места  $\beta$  земной станции в направлении на спутник. В общем случае они являются случайной величиной, т.к. зависят от состояния атмосферы. Однако в диапазоне 6/4 ГГц обычно составляют **1 ... 3 дБ**.

Связь между отношением сигнал-шум на выходе канала изображения  $[С/Ш]_{вых}$  и отношением мощности сигнала к мощности шума на входе приемника  $[Н/Ш]_{вх}$  зависит от метода обработки сигнала. При использовании ЧМ определяется индексом модуляции  $m = \Delta f_{ТВ}/F_B$ , т.е. девиацией частоты модулированного сигнала и значением модулирующей частоты. При аналоговой передаче ТВ сигнала с помощью ЧМ параметры качества на входе приемника и выходе канала изображения связаны следующим соотношением:

$$[С/Ш]_{вых} = [Н/Ш]_{вх} - 10 \log (2F_B/3) - 20 \log (F_B/\Delta f_{ТВ}), \text{ дБГц}, \quad (10.24)$$

где  $F_B$  – верхняя граничная частота спектра сигнала изображения  $F_B = 6 \text{ МГц}$ ;

$\Delta f_{ТВ}$  – полный размах девиации частоты (с учётом синхроимпульсов) при передаче ТВ сигнала,  **$\Delta f_{ТВ} = 8 \text{ МГц}$** .

При передаче ТВ сигналов с помощью ЧМ используют предискажения, а для измерения мощности шума на выходе канала изображения применяют визометрический (взвешивающий) фильтр, который учитывает особенности спектральной чувствительности зрения человека. В этом случае «взвешенное» отношение сигнал-шум увеличится:

$$[C/Ш]_{вз} = [C/Ш]_{вых} + \mathfrak{A}, \text{ дБ}, \quad (10.25)$$

где  $\mathfrak{A}$  – результирующий выигрыш, обусловленный введением предскажений и использованием взвешивающего фильтра. При использовании унифицированного взвешивающего фильтра и стандартных предскажений  $\mathfrak{A} = 13,5$  дБ.