

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ»



А.Г. Жуковский

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ

**Определение энергетического потенциала радиолинии связи и выбор
технических параметров оборудования спутникового приема с
использованием программы «SMW Link»**

*Методические рекомендации
по выполнению лабораторной работы*

Ростов-на-Дону

2019

Жуковский А.Г. Спутниковые и наземные системы радиосвязи. Определение энергетического потенциала радиолинии связи и выбор технических параметров оборудования спутникового приема с использованием программы «SMW LINK». *Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы.* СКФ МТУСИ, 2019. - 20 с.

В пособии кратко изложена методика расчета параметров приемной системы спутникового телевидения и энергетического потенциала радиолинии с использованием программы SMW Link 4.0. Рассмотрены теоретические вопросы и практические аспекты использования программы. Пособие содержит указания по подготовке и выполнению ряда лабораторных исследований по дисциплине «Спутниковые и наземные системы радиосвязи».

Пособие будет полезно для студентов очной и заочной форм обучения по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Рецензент: к.т.н. доц. Б.П. Борисов

© Жуковский А.Г., СКФ МТУСИ. 2019

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «26» августа 2019 г., № 1.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Цель работы	4
1. Краткие теоретические сведения	5
2 Описание программного обеспечения	10
3 Практические задания	15
4 Пример формы отчета по лабораторной работе	17
Контрольные вопросы	19
Список литературы	20

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые системы связи и вещания развивались очень бурно и достаточно быстро выявились две важные тенденции: переход на геостационарную орбиту и к более высокочастотным диапазонам при резком повышении мощности передатчиков, устанавливаемых на спутниках. Эти изменения преследовали определённую цель – максимально упростить наземные приёмные системы. Именно на этом пути выяснилось, что наземные приёмные станции могут оказаться настолько простыми и в серийном производстве достаточно дешёвыми, чтобы быть доступными для индивидуальных владельцев. Так появились подходы к непосредственному телевещанию.

В состав аппаратуры непосредственного приема спутниковых ТВ сигналов входят: антенная система, устройство дистанционного управления антенной, поляризатор, обеспечивающий выделение радиосигнала с выбранным направлением круговой поляризации, и преобразователь спутниковых радиосигналов.

Компания SMW (Swedish MicroWave), специализирующаяся на выпуске профессиональных конверторов для спутниковых антенн, разработала новую версию программы SMW Link для расчета спутниковой приемной системы.

Цель работы

Приобретение навыков практического использования специализированной программы SMW Link для расчета параметров приемной системы спутникового телевидения и энергетического потенциала радиолинии.

1 Краткие теоретические сведения

Для непосредственного приема спутниковых ТВ сигналов стандартные телевизоры должны быть дополнительно оборудованы специальными приемными устройствами, осуществляющими преобразование принятых радиосигналов в диапазоне 11,7... 12,5 ГГц в полосу частот одного из свободных в данной местности ТВ радиоканалов I-V частотных диапазонов. Подобные приемные устройства делятся на две группы - установки индивидуального и коллективного приема.

В состав аппаратуры непосредственного приема спутниковых ТВ сигналов входят: антенная система, устройство дистанционного управления антенной, поляризатор, обеспечивающий выделение радиосигнала с выбранным направлением круговой поляризации, и преобразователь спутниковых радиосигналов.

Обобщенная функциональная схема ТВ установки для приема радиосигналов спутникового НТВ приведена на рисунке 1.



Рисунок 1

Радиосигналы с различными видами круговой поляризации непосредственно принимаются параболической антенной с диаметром зеркала 0,9 м, усилением около 38,5 дБ в диапазоне 12 ГГц и шириной диаграммы направленности по уровню половинной мощности около 2°. Неотъемлемой частью приемной аппаратуры спутниковых сигналов является позиционер, т.е.

устройство дистанционного управления антенной системой. С помощью позиционера имеется возможность перестраивать антенну на различные ИСЗ, находящиеся на разных позициях геостационарной орбиты.

Обычно антенная система устанавливается на некотором удалении (на расстоянии нескольких десятков метров) от основного оборудования приема спутниковых ТВ сигналов. В этом случае стандартный антенный ТВ коаксиальный кабель для передачи сигналов в диапазоне 12 ГГц не годится. Уже при передаче на 1 м радиосигнал столь высокой частоты таким кабелем будет полностью рассеян, так как верхняя критическая рабочая частота коаксиального кабеля в несколько раз ниже частот радиосигналов с ИСЗ, для передачи таких высоких частот необходимы специальные волноводы. На практике за счет применения конверторов используется метод понижения несущих частот принимаемых сигналов. Поэтому выпускаемая аппаратура непосредственного приема ТВ сигналов в диапазоне 12 ГГц выполняется по схеме с двойным преобразованием частоты и конструктивно состоит из двух разделенных блоков (см. рисунок 1): вынесенного (наружного) и внутреннего, образующих устройство преобразования ТВ радиосигналов. Данное техническое решение оптимально с точки зрения высокой избирательности приемного устройства по соседнему каналу, подавления помех зеркального канала и обратного излучения гетеродина. Вынесенный блок, исполняющий роль конвертора, укрепляется непосредственно у облучателя параболической антенны. В этом случае принимаемый антенной радиосигнал по отрезку волновода проходит через поляризатор на вход конвертора. В конверторе принятые радиосигналы после первого преобразования переносятся в диапазон частот первой промежуточной частоты, усиливаются и передаются по коаксиальному кабелю на вход внутреннего блока. Для первой промежуточной частоты радиосигнала рекомендована полоса частот 0,95... 1,75 ГГц, расположенная выше диапазона наземного ТВ вещания. Во внутреннем блоке осуществляется второе преобразование частоты, демодуляция принятых радиосигналов, т.е. их частотная демодуляция, а затем АМ и перенос в один из стандартных

радиоканалов частотных диапазонов, соответствующих метровым или дециметровым волнам. Причем внутренний блок выделяет только один радиосигнал из всего диапазона рабочих частот приемного оборудования шириной 800 МГц, соответствующий определенной ТВ программе. Фактически внутренний блок является спутниковым тюнером, построенным по классической схеме супергетеродинного приемника. Выход внутреннего блока аппаратуры непосредственного приема спутниковых радиосигналов соединяется с антенным входом обычного телевизора.

В современных приемных установках спутниковых сигналов выбор радиосигнала с нужным направлением круговой поляризации осуществляется механическим или магнитным поляризатором дистанционно с помощью управляющих импульсов, вырабатываемых во внутреннем блоке.

Известно, что большинство искусственных спутников Земли (ИСЗ), использующихся в качестве ретрансляторов телевизионного сигнала, располагаются на так называемой геостационарной орбите. Геостационарная орбита представляет собой круговую экваториальную орбиту, при этом угловая скорость вращения ИСЗ совпадает с угловой скоростью движения Земли. Таким образом, наблюдателю, находящемуся на поверхности Земли, кажется, что ИСЗ находится постоянно над одной и той же точкой земной поверхности.

Для отображения позиции спутника на орбите используется координаты подспутниковой точки на поверхности Земли. Так как геостационарная орбита – экваториальная, то все подспутниковые точки расположены на экваторе, и их координаты определяются только долготой (широта равна нулю). Таким образом, если позиция ИСЗ обозначается, например, 40 градусов восточной долготы (40E), то это означает, что такую координату имеет соответствующая подспутниковая точка.

Для настройки приемной антенны на какой-либо спутник необходимо выставить два угла – азимут и угол места (угол возвышения, элевация).

Азимут – это угол между направлением на север и направлением на спутник, отсчитываемый по часовой стрелке.

Угол места – это угол между направлением на спутник и плоскостью горизонта.

Очевидно, что при настройке приемной антенны на один и тот же спутник в различных географических точках значения азимута и угла места будут различны. Таким образом, возникает задача расчета этих углов.

В этом случае для приема сигнала с нескольких спутников может быть использовано два технических решения:

1. Использование подвижной антенной системы;
2. Использование нескольких антенных систем (по числу спутников).

Подвижная антенна может использоваться только в индивидуальных приемных системах. Кроме того, такой системе присущи недостатки, связанные с ограниченной скоростью перемещения антенны и наличием подвижных частей, снижающих надежность системы.

Использование нескольких антенных систем предполагает использование антенных переключателей (DiSEqC-переключателей или мультисвитчей), при этом такую сложную антенну можно использовать в коллективных системах приема спутниковых телевизионных программ, а переключение со спутника на спутник происходит практически мгновенно.

Однако число антенн может оказаться недопустимо большим. В этом случае для приема сигнала с нескольких спутников может использоваться одна приемная параболическая антенна. Для смещения диаграммы направленности используется так называемый мультифид.

Мультифид – это устройство для крепления конвертера вне фокуса для смещения диаграммы направленности. Таким образом, если с использованием мультифида на одной антенной системе разместить несколько конвертеров, то появляется возможность приема сигнала с нескольких спутников.

Пример такого технического решения представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Прием сигнала с нескольких спутников на одну антенну с помощью мультифида

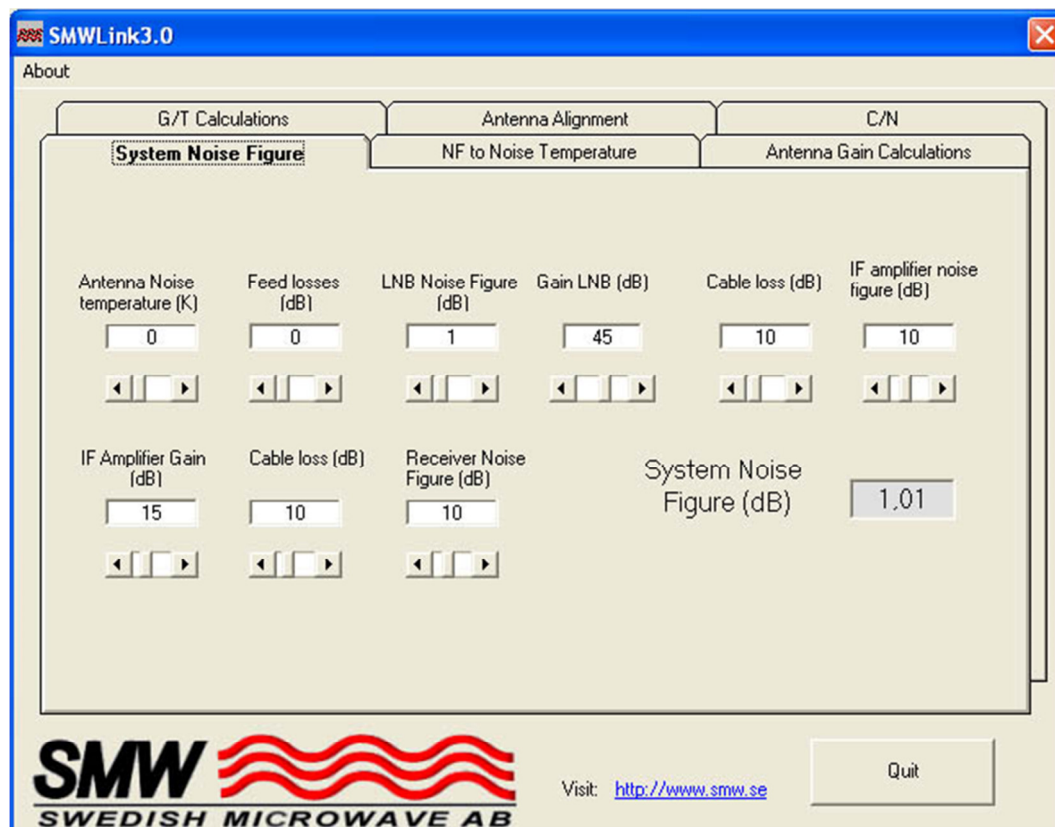
При использовании мультифида возникает достаточно сложная задача расчета положения конвертеров для различных спутников. Решение этой задачи может быть автоматизировано с помощью программы SMW Link.

Очевидно, что при использовании для приема конвертера, расположенного не в фокусе, эффективная площадь антенны снижается, что приводит к «размазыванию» диаграммы направленности и уменьшению ее коэффициента усиления. Таким образом, при использовании мультифида возникает задача расчета отношения сигнал/шум на выходе приемного конвертера и последующего выбора диаметра приемной антенны. Изучаемая программа позволяет производить этот расчет.

2 Описание программного обеспечения

При открытии основного окна программы становятся доступны шесть диалоговых окон:

1. System Noise Figure – окно для определения коэффициента шума всей системы;



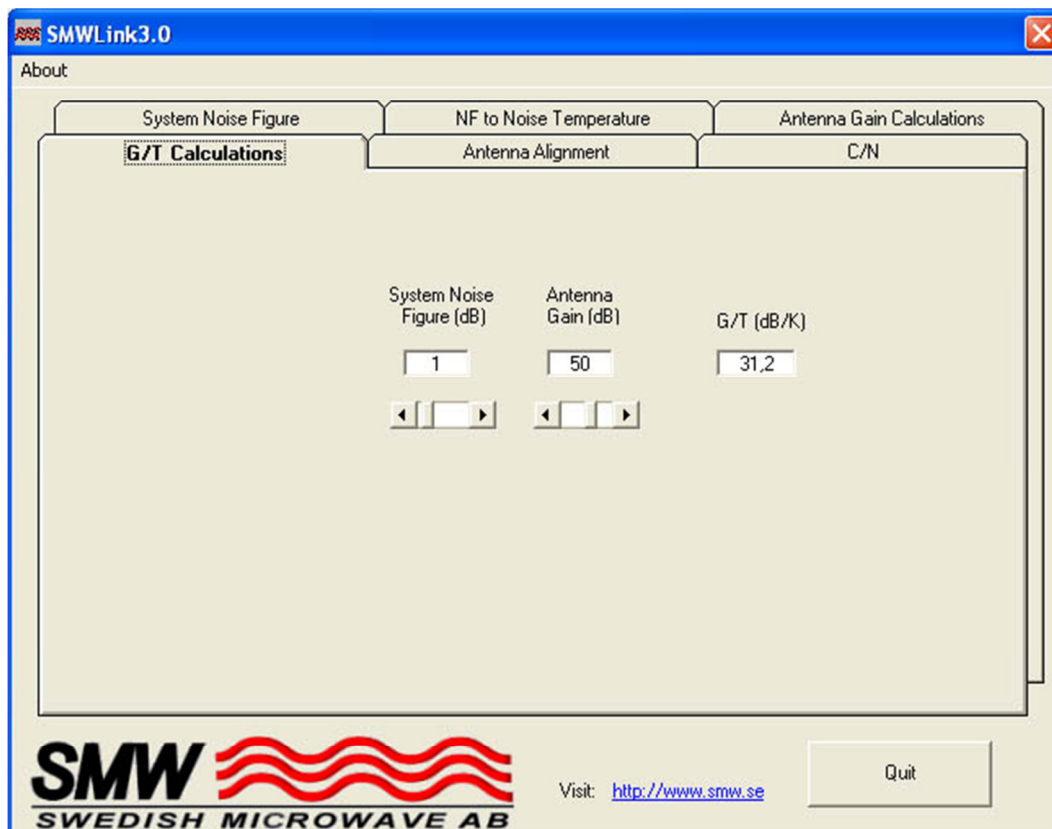
2. NF to Noise Temperature – окно для пересчета коэффициента шума в дБ в шумовую температуру в К;

The screenshot shows the 'SMWLink3.0' application window with the 'NF to Noise Temperature' tab selected. The window has a blue title bar and a menu bar with 'About'. Below the menu bar are three tabs: 'G/T Calculations', 'Antenna Alignment', and 'C/N'. The 'NF to Noise Temperature' tab is active, showing two input fields: 'Noise Figure (dB)' with a value of '1' and 'Noise Temperature (K)' with a value of '75'. Each field has a small numeric keypad below it. At the bottom of the window is the 'SMW SWEDISH MICROWAVE AB' logo, a 'Visit: <http://www.smw.se>' link, and a 'Quit' button.

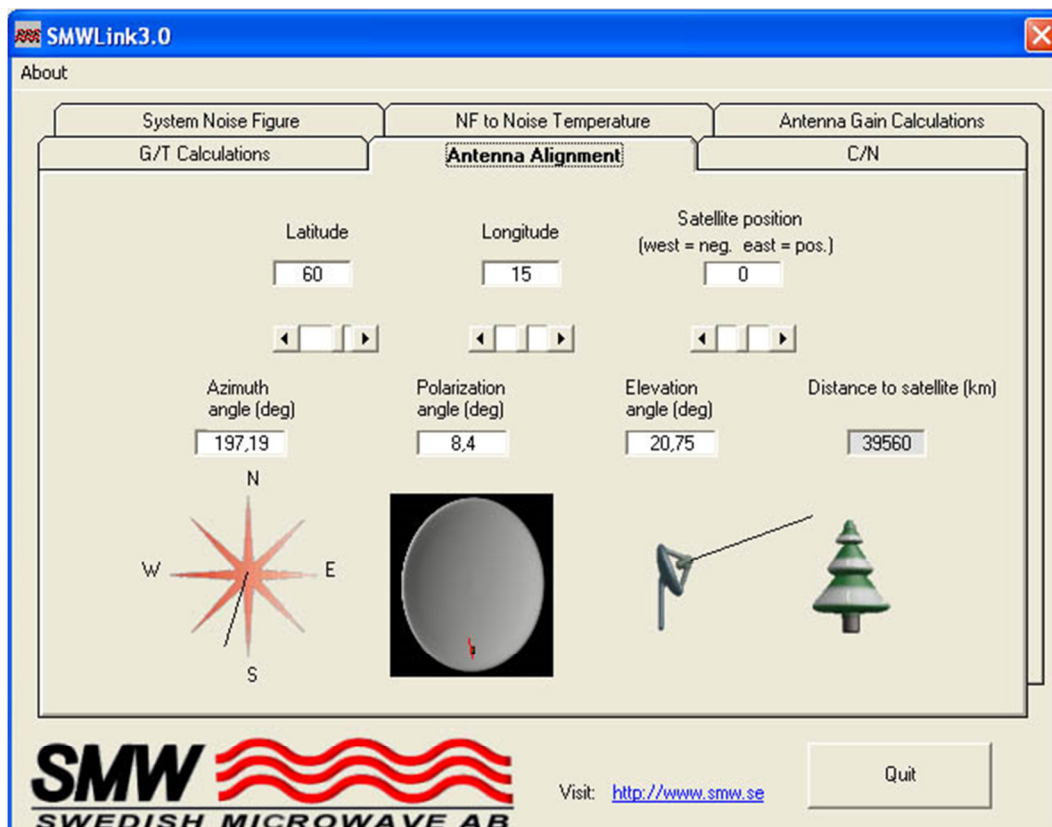
3. Antenna Gain Calculations – окно для расчета усиления антенны, по известным диаметру и эффективности использования поверхности;

The screenshot shows the 'SMWLink3.0' application window with the 'Antenna Gain Calculations' tab selected. The window has a blue title bar and a menu bar with 'About'. Below the menu bar are three tabs: 'G/T Calculations', 'Antenna Alignment', and 'C/N'. The 'Antenna Gain Calculations' tab is active, showing four input fields: 'Dish Diameter (m)' with a value of '1', 'Efficiency (%)' with a value of '60', 'Frequency (GHz)' with a value of '12', and 'Antenna Gain (dB)' with a value of '39,7'. Each field has a small numeric keypad below it. At the bottom of the window is the 'SMW SWEDISH MICROWAVE AB' logo, a 'Visit: <http://www.smw.se>' link, and a 'Quit' button.

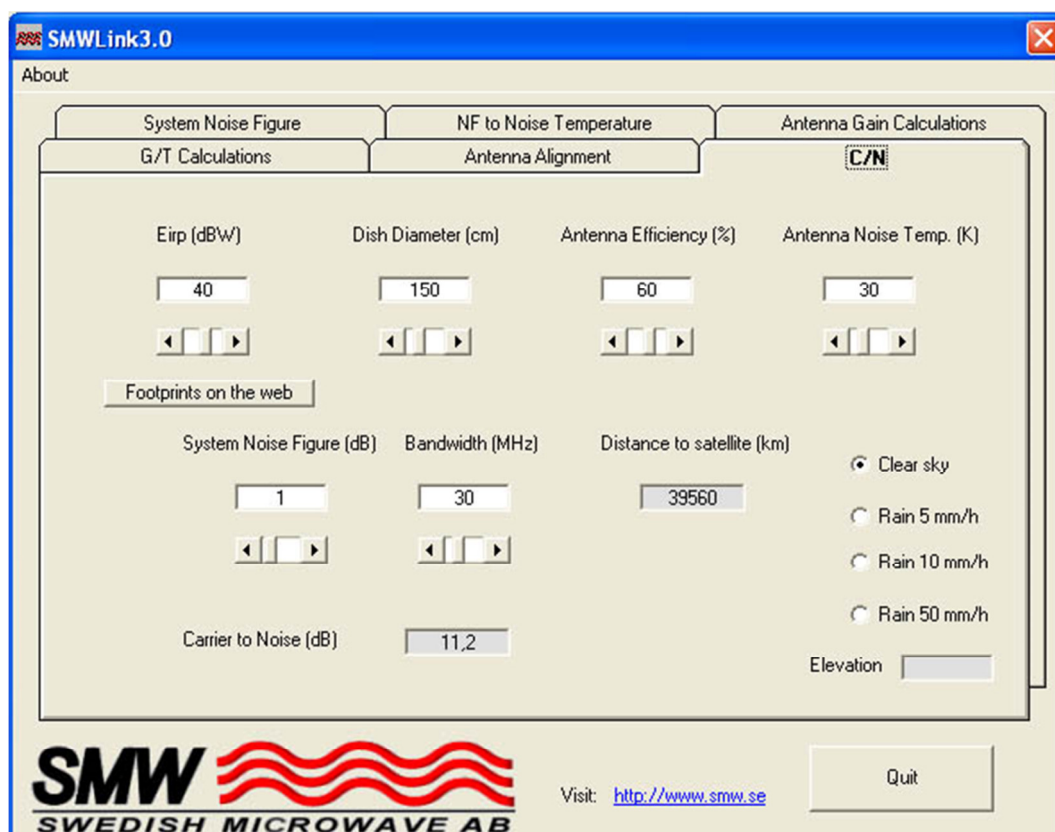
4. G/T Calculations – окно для расчета усиления антенны, необходимое для получения заданного отношения усиления к шумовой температуре;



5. Antenna Alignment – окно для определения азимута и угла места по географическим координатам;



2. C/N – окно для определения отношения сигнал/шум системы при различной интенсивности дождя.



Рассмотрим каждое из диалоговых окон программы по отдельности.

Для расчета коэффициента шума всей системы необходимо войти в диалоговое окно System Noise Figure и ввести следующие имеющиеся параметры системы – Antenna Noise Temperature (шумовая температура антенны); Feed Losses (потери подачи); LNB Noise Figure – номинальный уровень шума LNB (! LNB - Low-Noise Block Downconverter - устройство, объединяющее в себе предусилитель сигнала между антенной и приемником земной станции и понижающий конвертор (преобразующий принимаемые антенной сигналы в более низкий частотный диапазон), прикрепляемое к облучателю); Gain LNB (выгода LNB); Cable Losses (потери в кабеле); IF Amplifier noise figure (уровень шума IF-усилителя); IF Amplifier Gain (выгода IF-усилителя); IF – промежуточная частота; Receiver Noise Figure (номинальный уровень шума ресивера).

Далее чтобы пересчитать коэффициент шума в Дб в шумовую температуру в К необходимо открыть окно NF to Noise Temperature. При введении величины Noise Figure (уровень шума) пересчитывается Noise Temperature (шумовая температура) и наоборот.

В диалоговом окне Antenna Gain Calculation по известным данным: Dish Diameter (диаметр тарелки), Efficiency (эффективность использования поверхности), Frequency (частота) - получаем величину Antenna Gain (выгода антенны).

Для расчета усиления антенны открываем окно G/T Calculation. Аналогично при введении известных величин System Noise Figure (номинальный уровень шума системы) и Antenna Gain (выгода антенны) получаем требуемый параметр G/T (отношение усиления к шумовой температуре).

Для определения азимута (Azimuth angle), угла наклона (Polarization angle), угол возвышения спутника над горизонтом (Elevation angle), расстояния до спутника (Distance to satellite) - в окне Antenna Alignment устанавливаем Latitude (широта), Longitude (долгота) и Satellite position (позиция спутника: восточная долгота - со знаком «+» западная – «минус»).

В диалоговом окне C/N после введения известных параметров: Eirp (Effective-Isotropic-Radiated-Power – эффективная изотропно излучаемая мощность), Dish Diameter (диаметр тарелки), Antenna Efficiency (эффективность использования антенны), Antenna Noise Temp. (шумовая температура антенны), System Noise Figure (уровень шума системы), Bandwidth (полоса пропускания ресивера) и выборе разной интенсивности дождя (Clear sky, rain 5 mm/h, rain 10mm/h, rain 50 mm/h) – определяем Carrier to Noise (Отношение уровня несущей в данной полосе пропускания к уровню шума), Distance to satellite (расстояние до спутника) и Elevation (высота над уровнем моря)

3 Практические задания

Задание 1. Определить азимут, угол наклона спутниковой тарелки и угол возвышения спутника Hot Bird над горизонтом с в г. Ростове-на-Дону.

В качестве различных вариантов преподавателем может быть выдана позиция любого из видимых спутников.

Порядок выполнения работы

1. Запустить программу SMW Link, выполнив двойной щелчок мышью на соответствующем значке рабочего стола.
2. В открывшемся окне программы выбрать окно Antenna Alignment. В появившемся окне в пунктах Latitude и Longitude установить значения широты и долготы. Координаты г. Ростова-на-Дону 47,23 градусов северной широты, 39,68 градусов восточной долготы.
3. В пункт Satellite position ввести данные о позиции спутника. Положение спутника Hot Bird - 5,2 градуса восточной долготы.
4. После всех этих действий в пунктах Azimuth angle, Polarization angle, Elevaion angle выводятся рассчитанные программой искомые данные.
5. Рассчитанные данные записать в отчет.
6. Сделать выводы о том, как изменяются параметры установки спутниковой антенны от географического расположения места приема.

Задание 2. Рассчитать коэффициент усиления антенны Супрал СТВ-1.2.

Преподаватель может в качестве вариантов выдать характеристики антенн других размеров.

Порядок выполнения работы

1. В окне программы SMW Link выбрать окно Antenna Gain Calculations.
2. В пункте Dish Diameter вписать диаметр тарелки. Диаметр спутниковой тарелки Супрал СТВ-1.2 – 1200 мм.
3. В пункт Efficiency ввести эффективность использования антенны в %.

Обычно она бывает 40-70%. В данном случае антенна Супрал СТВ-1.2 – это 70%.

4. Диапазон частот данной антенны 10,7 - 12,75 ГГц. Выбрать в пункте Frequency необходимую частоту 11,5 ГГц.
5. После выполнения всех действий в пункте Antenna Gain выводится искомая величина.
6. Рассчитанные данные записать в отчет.
7. Сделать выводы, как изменяется коэффициент усиления антенны от рабочей частоты и геометрических размеров параболического отражателя

Задание 3. Определить отношение сигнал/шум при интенсивности дождя 50 мм/ч. Исходные данные взять из упражнения 2.

Преподаватель может выдать другие исходные данные.

Порядок выполнения работы

1. В диалоговом окне C/N в пункте Eirp установить величину взятую с карты покрытия спутника с помощью кнопки Footprints on the web.
2. Значения Dish Diameter и Antenna Efficiency взять из упражнения 2.
3. В пункте Antenna Noise Temp. ввести шумовую температуру антенны. Обычно эта величина находится в полосе 0-50 К. В данном случае – это 45 К. В пункте System Noise Figure ввести величину рассчитанную в окне System Noise Figure.
4. В пункте Bandwidth ввести полосу пропускания ресивера SKYMAX S6300PVR – 30 МГц.
5. Выбрать заданную интенсивность дождя 50 мм/ч.
6. После проделанных действия в пункте Carrier to Noise выводятся искомые данные.
7. Записать рассчитанные данные в отчет.
8. Сделать выводы, как зависит затухание сигнала от интенсивности дождя и полосы принимаемого сигнала, как связаны шумовая температура и уровень шумов на выходе антенного устройства.

4 Пример формы отчета по лабораторной работе

Тема:

Исследование принципов установки и настройки антенны системы DTH

Цель:

Приобрести навыки практического использования специализированной программы SMW Link для расчета параметров приемной системы спутникового телевидения и энергетического потенциала радиолинии.

Информационное обеспечение:

Компьютер с возможностью подключения к Интернету, специальное программное обеспечение, методическое пособие.

Исходные данные:

Спутник - Hot Bird; место приема – Ростов-на-Дону; Антенна - Супрал СТВ-1.2; Частотный диапазон приема – Ки; Интенсивность дождя - 50 мм/ч.

Выполнение заданий:

Задание 1.

Определить азимут, угол наклона спутниковой тарелки и угол возвышения спутника Hot Bird над горизонтом с в г. Ростове-на-Дону.

Положение спутника Hot Bird - 5,2 градуса восточной долготы;

Рассчитанные программой данные:

Azimuth angle (Азимут) – 224 град;

Elevation angle (Угол места) – 26 град;

Polarization angle (Угол поворота конвертера) – 28 град.

Задание 2.

Рассчитать коэффициент усиления антенны Супрал СТВ-1.2

Для антенны Супрал СТВ-1.2: Диаметр – 1,2 м;

Эффективность использования поверхности – 70%;

Частота 11,5 ГГц;

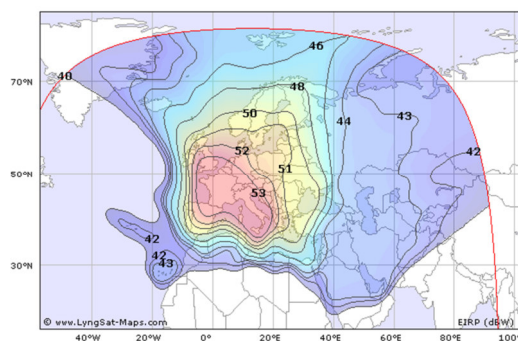
Рассчитанный коэффициент усиления – 41,1 дБ.

Задание 3. Определить отношение сигнал/шум при интенсивности дождя 50 мм/ч.

Для спутника Hot Bird:

Eirp (уровень в точке приема) – минус 44 Дбмкв

Carrier to Noise(отношение сигнал/шум) – 0,7 Дб

**Выводы:**

1. В зависимости от места установки спутниковой антенны изменяются все значения настройки антенны;

2. При увеличении диаметра антенны, увеличивается ее коэффициент усиления;

3. При полученном отношении сигнал/шум прием не возможен.

4. Осадки сильно влияют на уровень сигнала. Необходим запас на замирание в дожде не менее чем 12 дБ.

5. Чем шире полоса пропускания ресивера, тем меньше соотношение сигнал/шум.

6. Уменьшение шумовой температуры увеличивает качество сигнала, а значит, чем меньше угол места (антенна ближе к Земле) или чем ближе от диаграммы направленности проходит Солнце, тем больший уровень тепловых шумов будет принимать спутниковая система.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные принципы построения спутниковых систем передачи.
2. Назовите орбиты связных искусственных спутников Земли (ИСЗ) и дайте их сравнительный анализ.
3. Назовите основные элементы и их назначение схемы приема радиосигналов спутникового непосредственного телевидения - DTH.
4. Что представляет собой геостационарная орбита?
5. Что такое азимут?
6. Что такое угол возвышения?
7. Что такое подвижная антенна?
8. Что представляют собой антенные переключатели?
9. Что такое мультифид?
10. Что такое конвертер?
11. Что такое LNB?
12. В чем измеряется потеря в кабеле?
13. В виде какой величины можно представить коэффициент шума?
14. Что такое EIRP?
15. Что понимается под наклонной дальностью?
16. Какими параметрами характеризуется орбита спутника?
17. Дать определение диаграммы направленности антенны.
18. Дать определение коэффициента усиления антенны

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. — М.: «Альпина Паблишер», 2004.
2. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / В. В. Крухмалев, В. Н. Гордиенко, А. Д. Моченов и др.; Под ред. В. Н. Гордиенко и В. В. Крухмалева. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004.
4. Андрианов В. И., Соколов А. В. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи. — СПб.:БХВ-Петербург; Арлит. 2001. — 400 с.
5. Спутниковая связь и вещание: Справочник. — 3-е изд./Под. ред. Л. Я. Кантора. — М.: Радио и связь, 1997.-528 с.
7. Мордухович Л. Г., Степанов А. П. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: Учебное пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1987. — 192 с.: ил.
8. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: Учебник для вузов. Под ред А.С. Немировского. - М.: Радио и связь, 1986. - 392 с.
9. Малые космические аппараты информационного обеспечения / Под ред. докт. техн. наук, засл. деятеля науки РФ, проф. В.Ф. Фатеева - М.:Радиотехника, 2010. - 320 с.
10. Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. - Каменев Е.Ф., Аболищ А.И., Акимов А.А., Белов А.С., Бобков В.Ю., Пелехатый М.И., М.: Глобсатком, 2009 - 724 с.
11. Жуковский А.Г. Спутниковые и радиорелейные системы передачи. Учебное пособие - Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2011. 270 с.