

УДК 621.3.095

Составитель А.Е.Севрюков

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.Г. Андронов*

Определение параметров спутниковых и радиорелейных систем передачи: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Основы спутниковых и радиорелейных систем связи» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.Е.Севрюков. Курск, 2021. 111 с.

Содержат методические указания по выполнению лабораторных работ «Определение параметров спутниковых и радиорелейных систем передачи» по курсу «Основы спутниковых и радиорелейных систем связи».

Методические указания соответствуют требованиям программы по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочей программы дисциплины «Основы спутниковых и радиорелейных систем связи».

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.02 очной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано печать *16.03* Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 6,45. Уч.-изд. л.5,84. Тираж 100 экз. Заказ *462*. Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Лабораторная работа №1 «Определение структуры внутризонавой цифровой радиорелейной системы передачи»

Качество связи в ЦРРСП зависит от мощности передатчиков, чувствительности приемников, протяженности, структуры РРЛ и др. показателей. Знание структуры РРСП предполагает знание количества УРС, ОРС, ПРС, протяженности радиорелейных участков. Чем больше будет преобразований сигналов (ретрансляция, транзит) на РРЛ, т.е. чем больше будет УРС, ПРС, тем больше будет накапливаться в линии искажений сигнала, тем самым снижаются качественные показатели каналов связи.

Для того, чтобы проектируемая линия соответствовала рекомендациям МСЭ, необходимо соблюдать определенные протяженности радиорелейных участков (РРУч). Для этого МСЭ предложена гипотетическая (номинальная, эталонная) внутризонавая (зонавая) РРЛ, представленная на рисунок 1.

Гипотетическая (предполагаемая) эталонная цепь – это полная цепь между источником и приемником сообщения, имеющая определенную протяженность и включающая определенное число преобразований сигнала.

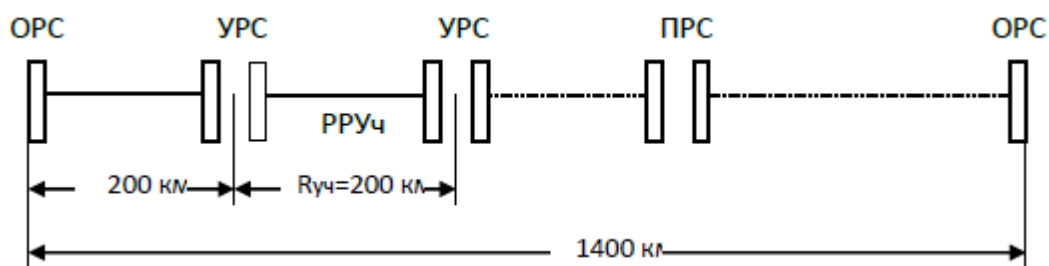


Рисунок 1 - Гипотетическая цепь ЗЦРРЛ

На рисунке 1 расстояние между УРС составляет 200 км, а длина эталонной линии – 1400 км. Между УРС, а также между ОРС и УРС располагаются ПРС, где не происходит выделение каналов и ввод новых каналов.

Так как реальные УРС будут располагаться в крупных населенных пунктах, где производится ввод и вывод цифровых потоков, а конкретные места их установки ещё не определены, то протяженности радиорелейных пролетов и участков в проектируемой ЦРРЛ могут незначительно отличаться от указанных в техническом задании и от гипотетических, но не превышающих эталон.

Цель работы

На основе исходных данных определить структуру ЗЦРРЛ системы передачи.

Порядок расчета структуры зонной цифровой радиорелейной системы передачи

1. Число интервалов (пролетов) РРЛ $n_{\text{инт.}}$ рассчитывается по формуле

$$n_{\text{инт.}} = \frac{L}{R_0}. \quad (1)$$

Число интервалов (пролетов) РРЛ $n_{\text{инт.}}$ округляется до максимального целого числа

2. Число радиорелейных участков (секций) определяется с учетом того, что предполагаемая протяженность участка не превысит протяженности радиорелейного участка зонной гипотетической РРЛ $R_{\text{уч.}}=200$ км (рисунок 1).

$$n_{\text{уч.}} = \frac{L}{R_{\text{уч.}}}. \quad (2)$$

Число участков (секций) РРЛ $n_{\text{уч.}}$ округляется до максимального целого числа

3. Тогда количество интервалов N на радиорелейном участке определяется по формуле:

$$N = \frac{n_{\text{инт.}}}{n_{\text{уч.}}}. \quad (3)$$

Число интервалов (пролетов) РРЛ N округляется до максимального целого числа

4. С учетом полученных данных для проектируемой ЗЦРРЛ на каждом из рассчитанных участков выбирается одинаковое число пролетов, за исключением последнего.

В сумме количество интервалов (пролетов) РРЛ должно соответствовать числу интервалов (пролетов) РРЛ $n_{\text{инт.}}$ рассчитанных по формуле 1 для заданных исходных значений.

5. Число узловых РРС рассчитывается по формуле

$$n_{\text{узл.}} = n_{\text{уч.}} - 1. \quad (4)$$

6. Общее количество радиорелейных станций определяется следующим образом

$$n_{об.} = n_{инт.} + 1. \quad (5)$$

7. Число промежуточных РРС (ПРС) определяется по формуле:

$$n_{ПРС} = n_{об.} - n_{ок.} - n_{узл.}, \quad (6)$$

где $n_{ок.}$ - число оконечных РРС (ОРС).

Расчёт числа промежуточных станция на каждом из участков определяется следующим образом:

$$n_{ПРС} = n_{инт.} - 1, \quad (7)$$

8. На основании проведенных расчетов изобразите структуру проектируемой ЗЦРРЛ, имеющую вид, представленный на рисунке 2.

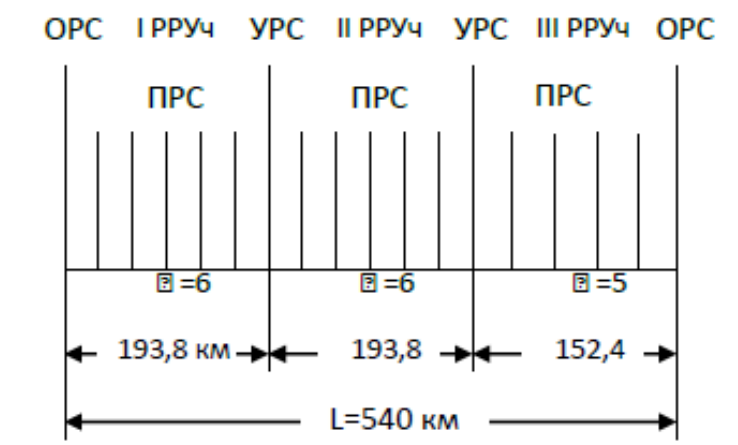


Рисунок 2 - Структура ЗЦРРЛ

9. Принимая за основу длину ЗЦРРЛ и планируемую длину интервала (пролета) ЦРРЛ, по № варианта исходных, следующим образом определить реальную протяженность радиорелейных участков и длин пролетов:

$$L_{ПРУчI} = L_{ПРУчII} = R_0 \cdot n_{инт.}, [км]. \quad (9)$$

Тогда

$$L_{ПРУчIII} = L - L_{ПРУчI} \cdot 2, [км]. \quad (10)$$

В этом случае длина интервала R_0 для третьего радиорелейного участка изменится и определяется следующим образом:

$$R_0 = \frac{L_{ПРУчIII}}{n_{инт.}}, [км]. \quad (11)$$

10. Результаты расчетов протяженности отдельных участков радиорелейной линии необходимо перенести на структуру ЗЦРРЛ, рис.2.2.

В дальнейшем структура РРЛ уточняется при расположении РРС на конкретной местности.

Пример расчета структуры ЗЦРРЛ для данных задания $L=540$ км и $R_0=32,3$ км

1. Рассчитывается число интервалов (пролетов) РРЛ $n_{инт.}$

$$n_{инт.} = \frac{L}{R_0} = \frac{540}{32,3} = 16,72$$

2. Определяется число радиорелейных участков (секций)

$$n_{уч} = \frac{L}{R_{уч}} = \frac{540}{200} = 2,7$$

3. Определяется количество интервалов N на радиорелейном участке

$$N = \frac{n_{инт.}}{n_{уч}} = \frac{17}{3} = 5,66$$

4. С учетом полученных данных для проектируемой ЗЦРРЛ на 1-м и 2-м из рассчитанных участков выбирается $n_{инт.}=6$ и на 3-м участке $n_{инт.}=5$.

5. Рассчитывается число узловых РРС

$$n_{узл} = n_{уч} - 1 = 2$$

6. Определяется общее количество радиорелейных станций

$$n_{об.инт.} = n_{инт.} - 1 = 11$$

7. Определяется число промежуточных РРС (ПРС)

$$n_{ПРС} = n_{об.инт.} - 1 = 10$$

Определяется число промежуточных станция на каждом из участков, причем для радиорелейного участка с $n_{инт.} = 6$

$$n_{ПРС} = n_{инт.} - 1 = 5$$

а для $n_{инт.} = 5$,

$$n_{ПРС} = 5 - 1 = 4$$

8. На основании проведенных расчетов изобразите структуру проектируемой ЗЦРРЛ.

9. Определяется реальная протяженность радиорелейных участков и длин пролетов для данных задания $L=540$ км и $R_0 = 32,3$ км,

$$L_{РРУчI} = L_{РРУчII} = R_0 \cdot n_{инт.} = 32,3 \cdot 6 = 193,8 \text{ [км]}$$

Тогда

~~Урл~~

10. Определяется длина интервала R_0 для третьего радиорелейного участка:

$$R_0 = \frac{L_{\text{PPYчIII}}}{n_{\text{ит.}}} = 30,48[\text{км}]$$

Форма отчетности

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

- а) исходные данные в соответствии с вариантом.
- Номер зачетной книжки
 - Общие данные для расчета взятые из Приложения А, по форме, представленной ниже

Длина ЗЦРРЛ, км	....
R_0 – планируемая длина интервала ЗЦРРЛ, км	....

- б) Результаты проведения расчетов и таблицу результатов расчетов для выбранных исходных данных, по форме:

Общее число интервалов (пролетов) РРЛ $n_{инт}$	....
Число радиорелейных участков (секций)	....
Количество интервалов N на радиорелейном участке	....
Число узловых РРС $n_{узл}$	....
Общее количество радиорелейных станций $n_{об}$	....
Число промежуточных радиорелейных станций $n_{ПРС}$	....
Реальная протяженность радиорелейных участков:	....
- 1-й, 2-й	....
- 3-й	....
Длина интервала R_0 для третьего радиорелейного участка	....

- в) Рисунок структуры ЗЦРРЛ интервалов.

Приложение А

Таблицы исходных данных

Таблица А.1 – Исходные данные длин интервалов и протяженности ЗЦРРЛ.

№ варианта	Длина ЗЦРРЛ, км	Ro– планируемая длина интервала ЗЦРРЛ, км
01, 51	446	36,4
02, 52	476	31,6
03, 53	494	33,5
04, 54	508	37,1
05, 55	516	38,1
06, 56	536	36,4
07, 57	560	37,2
08, 58	427	24,1
09, 59	446	25,4
10, 60	516	35,2
11, 61	536	32,9
12, 62	560	24,1
13, 63	580	22,2
14, 64	597	20,2
15, 65	494	26,2
16, 66	508	30,1
17, 67	516	31,2
18, 68	597	36,6
19, 69	494	27,1
20, 70	508	30,3
21, 71	516	28,7
22, 72	536	32,1
23, 73	560	34,2
24, 74	536	31,5
25, 75	446	26,2
26, 76	494	30,1
27, 77	508	31,2
28, 78	516	36,6
29, 79	597	31,2
30, 80	494	36,6
31, 81	508	27,1
32, 82	516	30,3
33, 83	536	38,1
34, 84	446	36,4
35, 85	476	37,2
36, 86	494	24,1
37, 87	508	25,4
38, 88	516	35,2
39, 89	536	32,9
40, 90	560	31,2
41, 91	536	36,6
42, 92	446	27,1

43, 93	516	30.3
44, 94	516	38,1
45, 95	536	36.4
46, 96	446	37.2
47, 97	476	24.1
48, 98	458	26,5
49, 99	512	34,2

Примечание. Номер варианта соответствует последним двум цифрам номера зачетной книжки.

Лабораторная работа № 2

«Построение профилей интервалов РРЛ»

Цель работы

На основе исходных данных построить профили интервалов РРЛ и определить ориентировочные высоты подвеса антенн.

Лабораторное задание

а) В соответствии с 2-я последними цифрами номера зачетной книжки из общих данных для расчета (Приложение А) необходимо выбрать для расчета 2 интервала линии связи равной протяженности.

б) Для каждого интервала задаться несколькими подходящими диапазонами частот.

в) Из таблицы параметров аппаратуры (Приложение Б) выбрать любой тип оборудования, способный работать на заданной скорости и имеющий примерно одинаковые технические параметры в этих диапазонах частот (как правило, это оборудование одной фирмы).

г) Провести расчеты для выбранных диапазонов частот, свести результаты в общую таблицу и выбрать наилучшие варианты. Критерием для выбора будут являться наименьшие диаметры параболических антенн.

д) Определив наиболее подходящий диапазон частот для каждого интервала, выбрать несколько (2 - 3) типов оборудования этого диапазона и провести расчеты, добиваясь наилучшего выполнения вышеприведенного критерия.

е) На основании полученных данных построить профили интервалов РРЛ и определить ориентировочные высоты подвеса антенн.

Краткие рекомендации по выбору рабочих частот

Диапазон 2 ГГц (1.7-2.1 ГГц)

Этот диапазон характеризуется возможностью распространения сигналов на достаточно протяженных пролетах (до 50-80 км). Устойчивость распространения радиоволн в сильной степени зависит от экранирующего действия препятствий на интервалах РРЛ при атмосферной рефракции. В этом диапазоне волн антенны обладают весьма большими габаритами, и поэтому коэффициенты усиления не превышают 35-38 дБ при диаметрах параболических антенн до 5 м. С уменьшением размеров антенн эффективность системы связи резко падает. Диапазон подвержен влиянию помех от других радиотехнических средств.

Диапазон 4 ГГц (3.4-3.9 ГГц)

Наиболее освоенный и загруженный РРЛ диапазон частот. В этом диапазоне работают многие магистральные системы связи. Характеризуется возможностью получать довольно протяженные пролеты (40-55 км) при хороших качественных показателях. Остронаправленные антенны (с коэффициентами усиления порядка 40 дБ) обладают значительными габаритами и весом (прил.2) и, следовательно, требуют весьма дорогостоящих антенных опор.

На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн.

Диапазон сложен с точки зрения электромагнитной совместимости, так как в нем работает множество радиотехнических средств.

Диапазон 6 ГГц (5.6-6.2 ГГц)

Популярный в последние десятилетия диапазон частот, предназначенный для магистральных систем связи. Позволяет получить достаточно эффективные системы РРЛ, передающие большие объемы информации. Средняя протяженность пролета достигает 40-45 км. Размеры антенн не слишком велики (например, антенна с коэффициентом усиления 43 дБ имеет диаметр 3.5 м).

На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн.

Диапазон 8 ГГц (7.9-8.4 ГГц)

Диапазон 8 ГГц освоен в настоящее время достаточно хорошо. В нем работает большое количество радиорелейных систем средней емкости (порядка 300-700 ТЛФ каналов в стволе для аналоговых систем и до 55 Мбит/с - для цифровых). Существует и аппаратура большой емкости, предназначенная для передачи потоков STM-1.

В этом диапазоне на распространение сигнала начинают оказывать влияние гидрометеоры (дождь, снег, туман и пр.). Кроме того, влияет атмосферная рефракция, приводящая к закрытию трассы или к интерференции волн.

Средняя протяженность пролета РРЛ составляет 30-40 км. Антенны имеют высокий коэффициент усиления при диаметрах порядка 1.5 - 2.5 м.

Число радиосредств в России, использующих этот диапазон, пока относительно невелико, и, следовательно, электромагнитная обстановка благополучна. Однако необходимо учитывать помехи от соседних радиорелейных линий, работающих в данном диапазоне частот.

В настоящее время диапазон применяется для организации зонных линий связи и различных ответвлений от магистральных систем. Отече-

ственные и зарубежные фирмы хорошо освоили производство аппаратуры и предлагают на рынке широкий спектр аналоговых и цифровых систем как средней, так и большой емкости.

Диапазоны 11 и 13 ГГц (10.7-11.7, 12.7-13.2 ГГц)

Эти диапазоны перспективны с точки зрения эффективности систем РРЛ. При протяженности пролета 15-30 км, высокоэффективные антенны имеют небольшие габариты и вес, что обеспечивает относительную дешевизну антенных опор.

Доля влияния атмосферной рефракции на устойчивость работы систем уменьшается, но увеличивается влияние гидрометеоров.

В этих диапазонах, в основном, строятся цифровые радиорелейные системы связи на скорости до 55 Мбит/с, хотя, есть примеры передачи цифровых потоков со скоростями до 155 Мбит/с

Аппаратура часто строится в виде моноблоков, т.е. приемопередатчики объединены с антенной и располагаются на вершине антенной опоры.

Но эти диапазоны используют большое количество радиосредств. Спутниковые системы связи, различные радиолокаторы и пеленгаторы, охранные системы создают неблагоприятную электромагнитную обстановку, что затрудняет работу в данных диапазонах.

Диапазоны 15 и 18 ГГц (14.5-15.35, 17.7-19.7 ГГц)

Интенсивное развитие систем связи привело к бурному освоению этих диапазонов частот.

Средняя протяженность пролетов достигает 20 км для зон с умеренным климатом. Аппаратура выполняется в виде моноблока. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.6, 1.2 или 1.8 м при коэффициентах усиления от 38 до 46 дБ.

В ряде регионов России диапазон 15 ГГц уже перегружен радиосредствами. Диапазон 18 ГГц пока более свободен.

На распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и интерференция прямых и отраженных волн. Ослабление в дожде может составлять 1-12 дБ/км (при интенсивности дождей 20-160 мм/час). Некоторое влияние оказывает и сама атмосфера (атомы кислорода и молекулы воды), ослабление в которой достигает 0.1 дБ/км.

Диапазон 23 ГГц (21.2-23.6 ГГц)

Согласно рекомендациям МСЭ-Р в этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости.

Средняя протяженность пролетов меньше 20 км, так как на распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и ослабления в атмосфере. Желательно использовать вертикальную поляризацию радио-

волн, хотя разрешено использование любой поляризации. Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.3, 0.6 и 1.2 м.

Ослабление в дождях может быть от 2 до 18 дБ/км, а в атмосфере достигает 0.2 дБ/км.

Диапазон разрешено использовать в спутниковых системах связи. Поэтому при расчетах необходимо учитывать возможность помех.

Диапазон 27 ГГц (25.25-27.5 ГГц)

Диапазон предназначен для построения систем фиксированного радиообслуживания. Характеризуется несколько меньшим ослаблением (меньше 0.1 дБ/км) сигнала в атмосфере. Средняя протяженность пролета 12 км. Ослабление в дождях 3-24 дБ/км. Антенны имеют диаметр 0.3, 0.6 м.

Диапазон 38 ГГц (37-39.5, 38.6-40 ГГц)

Согласно рекомендациям МСЭ-Р в этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости. Протяженность пролета меньше 8 км. В случае если показатель неготовности линии связи соответствует локальному качеству, протяженность интервала можно довести до 15 км.

Аппаратура представляет собой моноблок с антенной диаметром 0.3 м. Используется только вертикальная поляризация, так как, при этом получается лучшая устойчивость системы связи при наличии дождей.

Ослабление в атмосфере составляет порядка 0.12 дБ/км, а в гидрометеорах - от 5 до 32 дБ/км (при интенсивности дождей от 20 до 160 мм/час).

Диапазон 55 ГГц (54.25-57.2 ГГц)

Протяженность пролета составляет несколько километров при антеннах диаметром 15 см.

Ослабление сигнала в атмосфере до 5 дБ/км, а в дождях - от 7 до 40 дБ/км.

Диапазон 58 ГГц (57.2-58.2 ГГц)

В этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости, но рекомендации также пока отсутствуют. Диапазон можно использовать для создания пролета РРЛ на расстояние в 1-2 км, используя антенны диаметром меньше 15 см. Ослабление сигнала в атмосфере до 12 дБ/км, а в дождях - от 9 до 45 дБ/км. Сильное влияние дождей приводит к неустойчивости работы системы связи.

Необходимо учитывать, что этот диапазон является почти предельным для создания радиосистем, так как на частотах выше 60 ГГц наблюдается непрозрачность атмосферы для радиоволн из-за поглощения энергии в атомах.

Важным критерием для выбора диапазона частот будет минимальная протяженность интервала (R_0 мин). К примеру, при R_0 мин = 5-7 км, неоправданно выбирать диапазон рабочих частот меньше 10 ГГц, а правильно - 27-38 ГГц.

Порядок выполнения работы

По заданной скорости работы и выбранному диапазону частот, найти подходящий тип оборудования (приложение Б) и выписать его основные параметры.

Задать размеры (диаметр) приемных и передающих параболических антенн (0.3, 0.6, 0.9, или 1.2 м) и рассчитать их коэффициенты усиления по формуле

$$G = 20 \text{ Lg}(D) + 20 \text{ Lg}(f) + 17.5, \text{ дБ} \quad (1)$$

где D - диаметр антенны (м);

f - рабочая частота (ГГц), (при расчетах используйте округленное значение средней частоты выбранного диапазона).

При выборе антенн необходимо учитывать, что на практике не применяются антенны с коэффициентами усиления большими, чем 45 - 47 дБ.

1. Выбор мест расположения станций и построение профилей интервалов

Данные для построения профилей интервалов выбираются из соответствующих таблиц для выбора данных (Приложение А) При выборе данных профилей из таблиц, величины нужно записать в таблицы (таблица 1, 2), примерный вид которых показан ниже.

Таблица 1 - Высотные отметки профиля №

№ точки	k	h, м
1	0	
2	0.1	
3	0.2	
4	0.3	
5	0.4	
6	0.5	
7	0.6	
8	0.7	
9	0.8	
10	0.9	
11	1.0	

Таблица 2 - Местные предметы профиля №

№ МП	k1	k2	h, м	Вид МП
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				

В таблицу 1 вносятся одиннадцать высотных отметок (**h**), расположенных равномерно по длине интервала на относительных расстояниях **k**.

В таблицу 2 вносятся параметры различных структур, расположенные на поверхности Земли вдоль линии распространения радиосигнала. К таким структурам, которые принято называть местными или наземными предметами, относятся лесные массивы, крупные отдельные строения, населенные пункты, линии электропередач и пр.

Величины **k1** и **k2** соответствуют расположению крайних границ местных предметов на интервале, **h**- высота местного предмета. Последний столбец содержит название местного предмета.

По данным из таблиц 1, 2 нужно построить профили интервалов, которые отражают вертикальный разрез местности между соседними станциями.

Построение продольных профилей производится в прямоугольной системе координат с применением разных масштабов по горизонтали и вертикали. Высоты препятствий на поверхности Земли измеряются в метрах, а расстояния между ними радиорелейными станциями – в километрах. Таким образом, высоты откладываются на профиле не по линиям, проходящим через центр Земли (т.е. по радиусу Земли), а по вертикали (по оси ординат), и отсчет их ведется не от горизонтальной линии профиля, а от линии кривизны земной поверхности, принимаемой за линию уровня моря или за условный нулевой уровень. Расстояния же между станциями откладываются не по криволинейной поверхности, а по горизонтали (оси абсцисс). При таком построении профиля земная поверхность изображается не окружностью, а параболой.

Подробная методика построения предполагает два этапа.

Сначала строится линия (парабола), изображающая условный нулевой уровень. Уравнение параболы выглядит следующим образом:

$$Y = \frac{R_0^2}{2a_{\text{ЭКВ}}} k(1 - k) \quad (2)$$

где Y - высота параболы (м) на относительной координате k (из таблицы 1);

R_0 - протяженность пролета, м (из таблицы А1);

$a_{\text{ЭКВ}}$ - эквивалентный радиус Земли.

При построении профилей без учета влияния атмосферы, $a_{\text{ЭКВ}}$ принять равным геометрическому радиусу Земли (**6370 км**).

Затем, используя данные к практической работе, нанести отметки точек профиля относительно нулевого уровня и соединить их линиями.

Примерный вид профиля, построенного по таблице 1, 2, показан на рисунке 1.

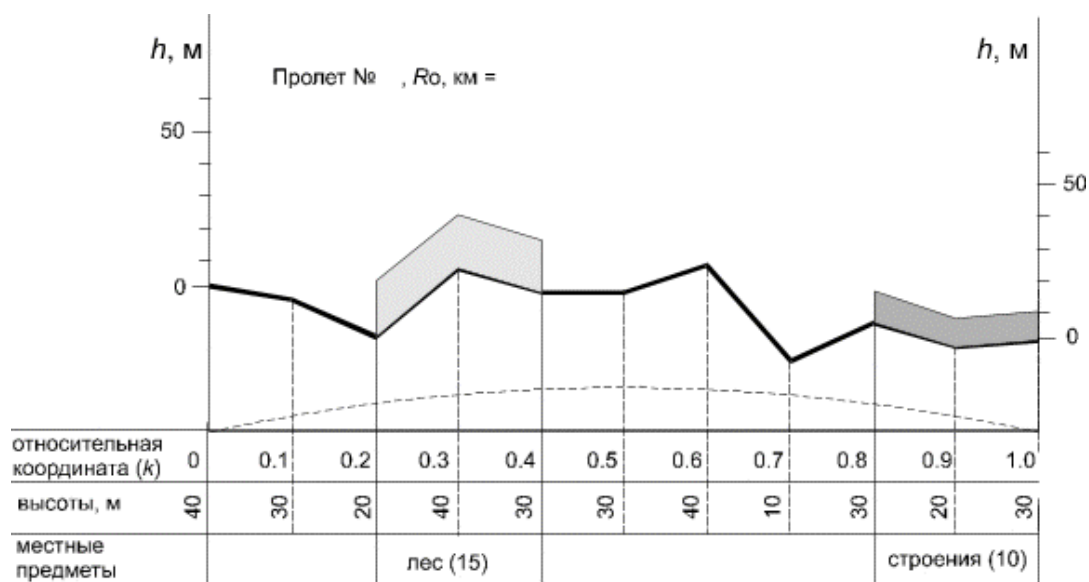


Рисунок 1 - Примерный вид профиля

2. Ориентировочный выбор высот подвеса антенн

После вычерчивания профилей интервалов (по исходным данным Приложение А) необходимо определить ориентировочные значения высот подвеса антенн. При этом нужно руководствоваться величиной просвета между линией прямой видимости и профилем трассы.

Из-за неравномерности вертикального градиента диэлектрической проницаемости атмосферы радиолуч получает искривление, что приводит к ухудшению радиосвязи. Если он встречается с естественным препятствием, то связь нарушается. Поэтому необходимо правильно определить просвет трассы путем правильного выбора высот подвеса антенн.

Радиолуч перемещается внутри зоны Френеля, которая представляет собой эллипсоид вращения в точке приема и передачи. Минимальный радиус зоны Френеля определяется по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}, \text{ м} \quad (3)$$

где $\lambda = \frac{c}{f}, \text{ м}$ – длина волны передачи;

f – частота передачи ,

k - координата критической точки (точка с максимальной высотой препятствия).

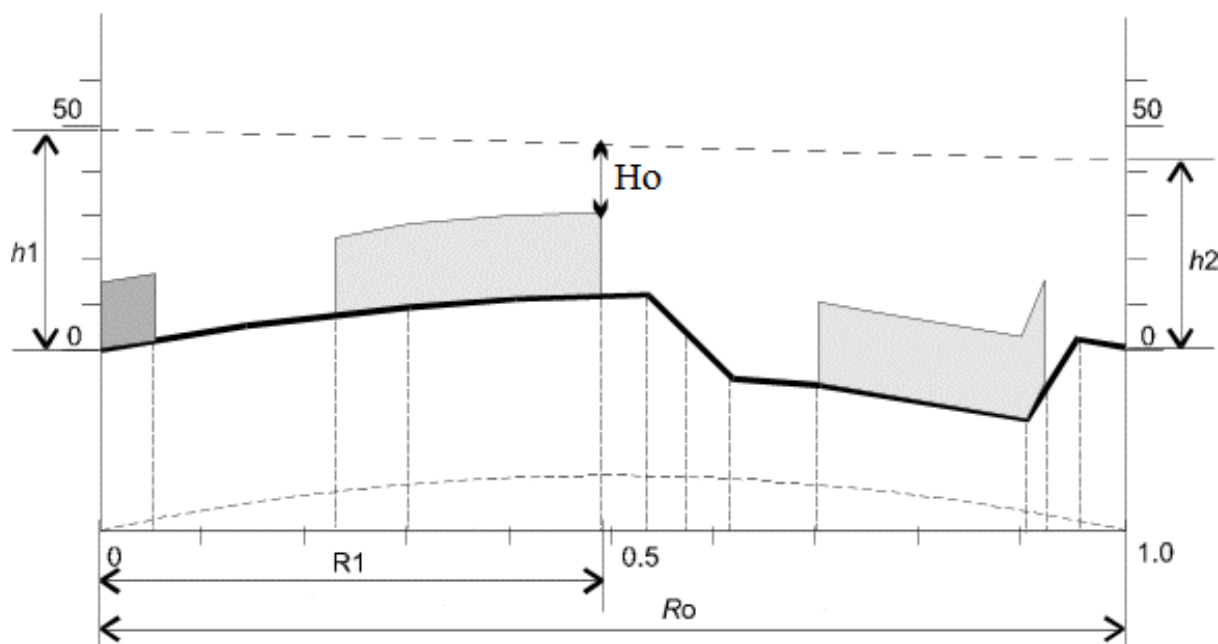


Рисунок 2 - Ориентировочные значения высот подвеса антенн

3 Определение среднего значения изменения просвета за счет рефракции

Основная сложность расчетов РРЛ определяется тем, что траектория распространения электромагнитной волны непрямолинейна, случайна и зависит от состояния атмосферы, от величины градиента диэлектрической

проницаемости атмосферы (g). Это явление называется атмосферной рефракцией.

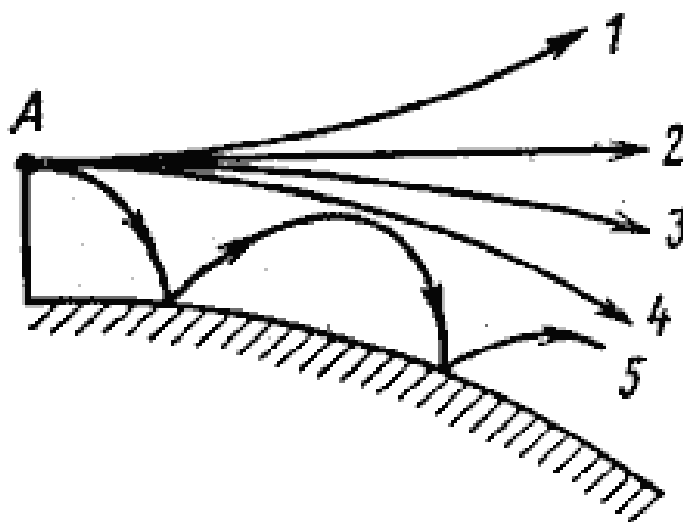


Рисунок 3- Траектория радиоволн при различных видах атмосферной рефракции: 1 – при субрефракции; 2 – в отсутствие рефракции; 3 – стандартной; 4 – критической; 5 - сверхрефракции.

В среднем, атмосферная рефракция приводит к увеличению значения просвета по сравнению с геометрической величиной, определяемой высотой подвеса антенн. Однако при определенных атмосферных условиях (**субрефракции**), наблюдается уменьшение величины просвета и, при недостаточно высоких антенных опорах, трасса может закрываться, т.е. может нарушаться прямая видимость.

Среднее значение изменения просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени, вычисляется по формуле

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma) = -\frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g} + \sigma) \cdot \kappa \cdot (1 - \kappa) , \quad (1.4)$$

где \bar{g} и σ – соответственно среднее значение и стандартное отклонение вертикального градиента проницаемости.

Стандартные значения градиентов приведен в таблице (рисунок 4)

Учет рефракции радиоволн

Параметры статистических распределений эффективных градиентов проницаемости

№ п/п	Климатический район	Летние месяцы		Зимние месяцы	
		Среднее значение $\bar{\epsilon}_{эф}$, 1/м	Стандартное отклонение σ , 1/м	Среднее значение $\bar{\epsilon}_{эф}$, 1/м	Стандартное отклонение σ , 1/м
1	Северо-запад Европейской территории СССР (ЕЭС) (Кольский полуостров, Карелия, Прибалтика ** Велоруссия **)	-9.10-8	7.10-8	-8.10-8	3.10-8
2	Северо-восток ЕЭС (Архангельская обл., Коми АССР)	-10.10-8	8.10-8	-10.10-8	5.10-8
3	Центральные районы Европейской территории СССР	-9.10-8	7.5.10-8	-8.10-8	5.10-8
4	Юго-запад Европейской территории СССР (Курская область, Воронежская обл., Украина, Молдавия, за исключением прибрежных районов)	-8.10-8	8.5.10-8	-7.10-8	(4.5-3.5).10-8
5	Степные районы Поволжья, Дона, Краснодарского и Ставропольского краев, степные районы Крыма	-6.10-8	7.10-8	-7.10-8	(4.5-3.5).10-8
6	Оренбургская область и прилегающие районы юго-востока Европейской территории СССР	-13.10-8	10.10-8	-12.10-8	6.5.10-8
7	Районы Прикаспийской низменности	-11.10-8	11.10-8	-7.5.10-8	6.10-8
8	Прикаспийские районы Средней Азии и Алшеронский п-ов	-6.10-8	10.10-8	-10.10-8	5.5.10-8
9	Пустынные районы Южного Казахстана	-7.10-8	9.10-8	-15.10-8	5.5.10-8
10	Степная полоса Южной Сибири и Казахстана	-10.10-8	9.10-8	-	-
11	Средняя полоса Западно-Сибирской низменности	-7.10-8	9.10-8	-15.10-8	6.5.10-8
12	Восточная Сибирь (Якутия, Красноярский край)	-8.10-8	7.8.10-8	-9.10-8	4.5.10-8
	Забайкалье (6, 7)	-(6-10).10-8	10.10-8	-(10-12).10-8	(7-8).10-8
	а) Прибрежные районы	-11.10-8	8.5.10-8	-8.10-8	3.5.10-8
	б) Континентальные районы	-7.10-8	7.10-8	-15.10-8	6.10-8
13	Приамурье, Приморье, Сахалин	Область повышенной рефракции		-	-
14	Субарктический пояс Сибири	-(10-11).10-8	(9-10).10-8	-	-
15	Приморские районы	Область субрефракции		-	-
	а) Украина	-10.10-8	6.10-8	-	-
	б) Черноморское побережье Кавказа	-10.10-8	6.10-8	-	-

* Данные, помещенные в таблице, относятся к толщине слоя тропосферы примерно 100 м над земной поверхностью.

** В районе водных массиров (морей, рек, болот и пр.) в летние месяцы $\bar{\epsilon}_{эф} \approx 10 \cdot 10^{-8}$ 1/м; $\sigma \approx 8 \cdot 10^{-8}$ 1/м.

Рисунок 4 - Значения градиентов проницаемости

При длине пролета меньше 50 км стандартное отклонение должно определяться по формуле

$$\sigma_{R_0} = \left(10 \cdot 10^{-8} + \frac{\bar{g}}{3,1} \right) \cdot \left(\frac{1}{y} - 1 \right) + \frac{\sigma}{y}, \quad (1.5)$$

где σ – значение стандартного отклонения, взятое из таблицы (рисунок 1) 1/м;

y – находится из рисунка 5.

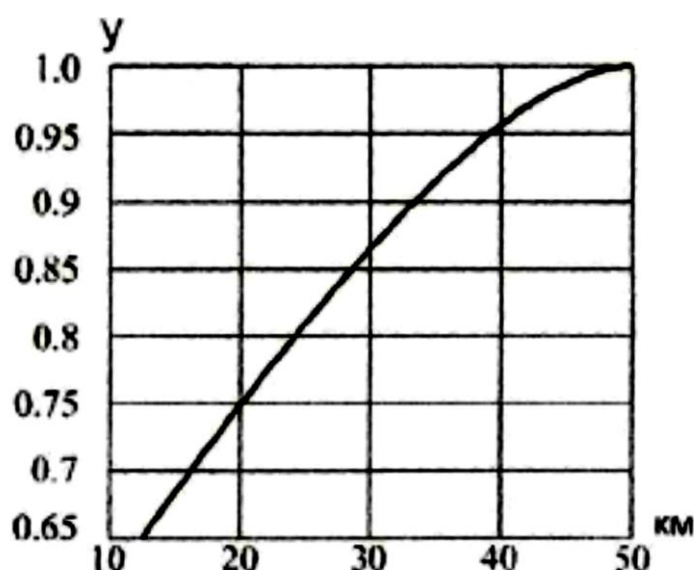


Рисунок 5 - Определение параметра y

Просвет при отсутствии рефракции рассчитывается по формуле

$$H(0) = H_0 - \frac{R_0^2}{4} (\bar{g} + \sigma) \cdot k(1 - k), \text{ м.} \quad (1.6)$$

Где значения σ и \bar{g} берутся из таблицы (рисунок 4) для Курского региона.

Пример расчета для Якутии $\bar{g} = -7 \cdot 10^{-8}$, 1/м и $\sigma = 9 \cdot 10^{-8}$, 1/м.

$$k = 15/35 = 0.4,$$

$$H_0 = \sqrt{35/3 \cdot 10^3 \cdot 0.04 \cdot 0.4 \cdot (1 - 0.4)} = 10.58, \text{ м,}$$

$$\sigma(R_0) = (10 \cdot 10^{-8} + (-7 \cdot 10^{-8})/3.1) \cdot (1/0.92 - 1) + 9 \cdot 10^{-8} / 0.92 = 10.46 \cdot 10^{-8}, 1/\text{м},$$

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma) = -\frac{(35 \cdot 10^3)^2}{4} \cdot (-7 \cdot 10^{-8} + 1.046 \cdot 10^{-7}) \cdot 0.4 \cdot (1 - 0.4) = -2.54, \text{ м,}$$

$$H(0) = 10.58 + 2.54 = 13.12, \text{ м.}$$

4 Расчет высот подвеса антенн

Предварительные высоты подвеса антенн выбираются методом оптимизации. Для этого от критической точки профиля откладывается расстояние $\Delta y = H(0)$ и через данную точку проводится три произвольных луча. Выбирается тот луч, у которого $h1 + h2 = \min$, где $h1$ – высота подвеса передающей антенны, $h2$ – высота подвеса приемной антенны.

При окончательном выборе высот подвеса антенн используются следующие соотношения.

$$h_1 = MN + Y + H(0) - CD, \text{ м;}$$

$$h_2 = MN + Y + H(0) - XY, \text{ м.}$$

где Y – максимальная высота параболы (м) на относительной координате $k=0,5$

MN – максимальная высота профиля относительно УНУ;

CD, XY – высота профиля соответственно в начале и в конце тракта в зависимости от типа антенны – передающей или приемной.

Численные значения Y, MN, CD, XY берутся из построенного профиля пролета для заданного варианта задания.

Пример построения профиля для Якутии:

Данные для построения профиля: при $R_0=27$ км, $f = 7,5$, ГГц

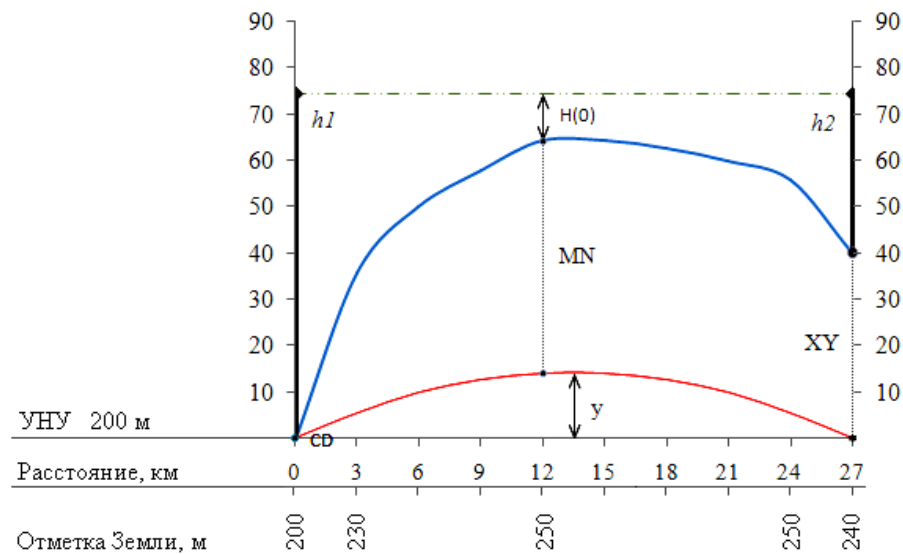


Рисунок 6 – Профиль пролета РРЛ

Максимальная высота параболы Y (м) на относительной координате

$k=0,5$:

$$Y = 143, \text{ м}$$

Координата критической точки:

$k=0,44$:

Минимальный радиус зоны Френеля

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}, \text{ м}$$

где $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{7,5 \cdot 10^9} = 0,04 \text{ м}$ – длина волны передачи;

f – частота передачи с БС1 на БС2.

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 0,04 \cdot 0,44(1-0,44)} = 9,4, \text{ м}$$

Для Якутии $\sigma = 9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ и $g = -7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$.

Просвет в отсутствии рефракции

$$\begin{aligned} H(0) &= H_0 - \frac{R_0^2}{4} (\bar{g} + \sigma) k(1-k) = \\ &= 9,4 - \frac{(27 \cdot 10^3)^2}{4} (-7 + 9) \cdot 10^8 \cdot 0,44(1-0,44) = 10,3, \text{ м.} \end{aligned}$$

Высоты подвеса антенн

$$h_1 = MN + y + H(0) - CD = 50 + 14,3 + 10,3 - 0 = 74,8, \text{ м};$$

$$h_2 = MN + y + H(0) - \tilde{O}Y = 50 + 14,3 + 10,3 - 40 = 34,8, \text{ м}.$$

Провести луч, соединяя точки подвеса.

4. Форма отчетности

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

- г) исходные данные в соответствии с вариантом.
 - Номер зачетной книжки
 - Общие данные для расчета взятые из Приложения А, по форме, представленной ниже

Качество линии связи	....
Скорость работы	....
R_0 мин	....
Число интервалов	2

- д) Таблицу результатов расчетов для выбранных диапазонов частот.
- е) Рисунки профилей интервалов.
- ж) Просвет в отсутствии рефракции
- з) Среднее значение изменения просвета за счет рефракции.
- и) Величины высот подвеса антенн.

Приложение А

Таблицы для выбора данных

Таблица А 1 - Общие данные для расчета

Последние цифры зач. книжки	две номера	V, Мбит/с	Качество	R ₀ мин, км
01, 51		2	среднее, 2 класс	18
02, 52		4	локальное	12
03, 53		8	среднее, 4 класс	10
04, 54		16	локальное	8
05, 55		34	локальное	11
06, 56		2	среднее, 2 класс	20
07, 57		4	локальное	16
08, 58		8	среднее, 3 класс	10
09, 59		16	локальное	20
10, 60		34	локальное	14
11, 61		2	среднее, 2 класс	25
12, 62		4	локальное	14
13, 63		8	среднее, 4 класс	19
14, 64		16	локальное	15
15, 65		34	среднее, 4 класс	10
16, 66		2	локальное	12
17, 67		4	среднее, 4 класс	18
18, 68		8	среднее, 1 класс	9
19, 69		16	локальное	19
20, 70		34	среднее, 4 класс	20
21, 71		2	среднее, 1 класс	10
22, 72		4	локальное	17
23, 73		8	среднее, 4 класс	30
24, 74		16	локальное	16
25, 75		34	среднее, 2 класс	9
26, 76		2	среднее, 4 класс	23
27, 77		4	среднее, 4 класс	20
28, 78		8	локальное	19
29, 79		16	среднее, 4 класс	18
30, 80		34	среднее, 2 класс	17
31, 81		2	среднее, 4 класс	15
32, 82		4	локальное	14
33, 83		8	среднее, 2 класс	12
34, 84		16	локальное	18
35, 85		34	среднее, 4 класс	11
36, 86		2	среднее, 2 класс	12
37, 87		4	среднее, 4 класс	14
38, 88		8	среднее, 3 класс	16
39, 89		16	локальное	18
40, 90		34	среднее, 2 класс	20
41, 91		2	локальное	22

42, 92	4	среднее, 3 класс	14
43, 93	8	среднее, 4 класс	26
44, 94	16	среднее, 3 класс	18
45, 95	34	среднее, 1 класс	8
46, 96	2	локальное	10
47, 97	4	среднее, 3 класс	17
48, 98	8	среднее, 4 класс	15
49, 99	16	локальное	18
50, 00	34	среднее, 3 класс	14

V округленное значение скорости цифрового потока в ЦРРЛ,
 R_0 - средняя протяженность интервала.

Выбор данных для построения профилей интервалов

Таблица А 2 - Отметки высот профиля №1

Последние две цифры номера зачетной книжки	Высотные отметки профиля (м) для относительной координаты k										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
01, 21, 41, 61, 81	40	35	25	40	35	60	55	50	0	50	60
02, 22, 42, 62, 82	20	15	15	20	40	40	20	0	0	20	30
03, 23, 43, 63, 83	60	50	45	55	60	40	50	30	30	50	55
04, 24, 44, 64, 84	10	5	20	40	40	35	40	45	50	30	65
05, 25, 45, 65, 85	60	50	60	60	60	40	50	60	40	20	40
06, 26, 46, 66, 86	20	30	20	20	30	40	50	70	60	50	70
07, 27, 47, 67, 87	70	60	60	70	70	60	50	70	60	50	60
08, 28, 48, 68, 88	30	30	40	50	40	20	20	0	20	30	40
09, 29, 49, 69, 89	50	40	40	30	40	40	40	50	40	30	25
10, 30, 50, 70, 90	25	20	10	0	10	20	40	40	30	40	35
11, 31, 51, 71, 91	15	5	0	0	20	40	40	50	50	40	40
12, 32, 52, 72, 92	40	30	10	0	15	25	20	10	20	20	15
13, 33, 53, 73, 93	70	50	50	40	50	50	50	40	30	40	40
14, 34, 54, 74, 94	30	30	40	50	40	30	40	30	40	30	40
15, 35, 55, 75, 95	50	60	40	40	30	30	20	30	20	20	40
16, 36, 56, 76, 96	20	10	20	30	40	30	40	40	35	40	40
17, 37, 57, 77, 97	55	50	40	40	30	20	0	20	40	30	35
18, 38, 58, 78, 98	80	70	80	90	90	70	60	60	70	60	70
19, 39, 59, 79, 99	35	40	20	20	30	40	40	60	60	60	65
20, 40, 60, 80, 00	20	15	10	20	40	40	40	30	20	20	30

Таблица А3 - Отметки высот профиля №2

Последние 2 цифры номера зачетной книжки	Высотные отметки профиля (м) для относительной координаты k										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
01, 21, 41, 61, 81	60	40	20	40	35	20	50	40	10	50	40
02, 22, 42, 62, 82	30	15	15	0	20	30	20	20	20	20	30
03, 23, 43, 63, 83	55	40	40	50	50	40	50	30	30	50	50
04, 24, 44, 64, 84	65	5	20	40	40	35	40	45	50	30	30
05, 25, 45, 65, 85	40	50	60	60	60	40	50	60	40	20	50
06, 26, 46, 66, 86	70	60	40	50	50	40	50	50	40	50	50
07, 27, 47, 67, 87	60	60	60	50	40	40	50	50	40	50	40
08, 28, 48, 68, 88	40	30	40	50	40	40	20	20	20	30	30
09, 29, 49, 69, 89	25	40	40	30	40	40	50	50	40	30	55

10, 30, 50, 70, 90	35	20	30	20	30	20	40	40	30	40	35
11, 31, 51, 71, 91	40	30	40	40	30	20	0	20	40	30	30
12, 32, 52, 72, 92	15	30	10	20	30	40	20	40	20	40	40
13, 33, 53, 73, 93	40	40	30	40	50	50	50	40	60	40	60
14, 34, 54, 74, 94	40	30	40	50	60	50	40	50	60	60	70
15, 35, 55, 75, 95	40	30	40	40	30	10	20	30	20	20	20
16, 36, 56, 76, 96	40	20	20	30	40	30	40	20	15	40	40
17, 37, 57, 77, 97	35	20	40	40	30	30	30	50	40	50	55
18, 38, 58, 78, 98	70	70	50	60	60	70	60	60	40	50	40
19, 39, 59, 79, 99	65	40	50	40	30	20	40	30	40	40	45
20, 40, 60, 80, 00	30	30	20	40	30	40	20	30	20	10	30

Таблица А 4. Параметры местных предметов профиля № 1

Последние 2 цифры номера зачетной книжки	№ МП	k1	k2	h, м	Вид МП
01, 21, 41, 61, 81	1	0.2	0.6	20	лес
	2	0.9	1.0	14	строения
02, 22, 42, 62, 82	1	0.3	0.4	30	лес
	2	0.6	0.8	20	лес
03, 23, 43, 63, 83	1	0.4	0.9	30	лес
	2	0.9	1.0	15	строения
04, 24, 44, 64, 84	1	0.2	0.4	20	лес
	2	0.7	0.8	6	строения
05, 25, 45, 65, 85	1	0.1	0.5	25	лес
	2	0.8	0.9	16	строения
06, 26, 46, 66, 86	1	0	0.6	30	лес
	2	0.9	1.0	30	строения
07, 27, 47, 67, 87	1	0.1	0.3	15	лес
	2	0.9	1.0	20	строения
08, 28, 48, 68, 88	1	0.1	0.3	15	лес
	2	0.7	1.0	25	лес
09, 29, 49, 69, 89	1	0	0.1	20	строения
	2	0.6	0.9	25	лес
10, 30, 50, 70, 90	1	0.1	0.2	9	строения
	2	0.2	0.7	20	лес
11, 31, 51, 71, 91	1	0.1	0.2	20	строения
	2	0.4	0.7	15	лес
12, 32, 52, 72, 92	1	0.3	0.4	15	строения
	2	0.6	0.9	30	лес
13, 33, 53, 73, 93	1	0	0.1	18	строения
	2	0.5	0.7	15	лес
14, 34, 54, 74, 94	1	0.1	0.6	20	лес
	2	0.9	1.0	25	строения
15, 35, 55, 75, 95	1	0	0.7	20	лес
	2	0.8	1.0	20	строения
16, 36, 56, 76, 96	1	0	0.1	25	строения
	2	0.4	1.0	20	лес
17, 37, 57, 77, 97	1	0.1	0.2	15	строения
	2	0.6	0.8	25	лес
18, 38, 58, 78, 98	1	0.1	0.15	15	строения
	2	0.8	0.9	20	лес
19, 39, 59, 79, 99	1	0	0.05	6	строения

	2	0.4	0.9	20	лес
20, 40, 60, 80, 00	1	0	0.1	20	строения
	2	0.7	0.8	15	лес

Таблица А5 - Параметры местных предметов профиля № 2

Последние 2 цифры номера зачетной книжки	№ МП	k1	k2	h, м	Вид МП
01, 21, 41, 61, 81	1	0	0.1	14	строения
	2	0.4	0.9	25	лес
02, 22, 42, 62, 82	1	0.1	0.6	30	лес
	2	0.6	0.8	20	лес
03, 23, 43, 63, 83	1	0	0.2	15	строения
	2	0.6	1.0	20	лес
04, 24, 44, 64, 84	1	0.1	0.7	20	лес
	2	0.7	0.8	10	строения
05, 25, 45, 65, 85	1	0.1	0.7	20	лес
	2	0.9	0.95	10	строения
06, 26, 46, 66, 86	1	0	0.05	30	строения
	2	0.5	0.8	25	лес
07, 27, 47, 67, 87	1	0	0.1	20	строения
	2	0.1	0.7	30	лес
08, 28, 48, 68, 88	1	0	0.3	25	лес
	2	0.7	1.0	30	лес
09, 29, 49, 69, 89	1	0	0.7	20	лес
	2	0.8	0.9	25	лес
10, 30, 50, 70, 90	1	0.4	0.5	6	строения
	2	0.5	0.8	25	лес
11, 31, 51, 71, 91	1	0	0.1	10	строения
	2	0.4	0.9	25	лес
12, 32, 52, 72, 92	1	0	0.1	15	строения
	2	0.1	0.5	20	лес
13, 33, 53, 73, 93	1	0	0.1	10	строения
	2	0.5	1.0	15	лес
14, 34, 54, 74, 94	1	0	0.1	25	строения
	2	0.4	1.0	15	лес
15, 35, 55, 75, 95	1	0	0.2	20	строения
	2	0.6	0.8	20	лес
16, 36, 56, 76, 96	1	0	0.4	25	лес
	2	0.4	0.5	15	лес
17, 37, 57, 77, 97	1	0	0.2	10	строения
	2	0.5	0.8	20	лес
18, 38, 58, 78, 98	1	0.1	0.5	25	лес
	2	0.8	0.9	10	строения
19, 39, 59, 79, 99	1	0	0.4	20	лес
	2	0.8	0.9	10	строения
20, 40, 60, 80, 00	1	0.1	0.5	20	лес
	2	0.9	1.0	15	строения

Приложение Б

Таблица Б.1- Некоторые типы аппаратуры цифровых РРЛ

Аппаратура	f, ГГц	Рпд, дБм	Модуляция	Ско- рость, Мби т/с	Рпор (10 ⁻³), дБм
1	2	3	4	5	5
Эриком - 11	10.7-11.7	16	ЧММС	2 8	- 86 - 83
Радан - 2	10.7-11.7	17	ЧМ	1	- 78
Радан-МГ-120/480	10.7-11.7	18.5	ММС	34	- 73
Радан-МГ-11-120	10.7-11.7	18.5	ММС	8	- 87
Радан-МС-11-15/30	10.7-11.7	18	ЧМ	2	- 87
Nateks-Mikrolink SDH	10.75-11.25	24	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ11	10.7-11.7	28.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
SRA 1/1S	12.7-13.3	22.5	32 TCM	STM-0	- 80.5
NL 183	12.7-13.3	24	40ФМ	8	- 88
Бист-13	12.7-13.3	10 - 26	-	2 8 16	- 90 - 87 - 78
PASOLINK ⁺ (13)	12.7-13.3	16.5 16.5 19.5 19.5	128 QAM(RS) 32 QAM(RS) 16 QAM (RS) 16 QAM (RS)	STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 70 - 80 - 86.5 - 83.5
PASOLINK 13	12.7-13.3	23 23 20 20	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 92.5 - 89.5 - 83.5 - 80.5
SAGEM/LINK	12.7-13.2	22	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 98 - 95 - 93 - 89
Nateks-Mikrolink	12.75-13.25	20	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 92 - 89 - 87 - 84
FlexyHopper	12.7-13.3	20	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 87 - 84
Nateks-Mikrolink SDH	12.75- 13.25	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ13	12,75 - 13,25	28.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
FlexyHopper	14.5-15.3	20	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2	- 93 - 90

				8 x 2	- 87
				16 x 2	- 84
SRA 1/1S	14.5-15.3	21.5	32 TCM	STM-0	- 80
Nateks-Mikrolink	14.5-15.3	16	QPSK	2 x 2	- 92
				4 x 2	- 89
				8 x 2	- 87
				16 x 2 (34)	- 84
NL 185	14.5-15.3	21	40ФМ	8	- 88
Радиан-15	14.5-15.3	20 (26)	-	2	- 89
				8	- 86
				16	- 83
				34	- 80
1	2	3	4	5	5
Радиус-15	14.5-15.3	23	QPSK	2	- 87
MINI-LINK 15-C	14.5-15.3	18 (25)	4FSK	2	- 93
				8	- 87
				16	- 84
				34	- 81
MINI-LINK 15-E (Микро) MINI-LINK 15-E	14.5-15.3	18 (25)	C-QPSK	2	- 94
				4	- 91
				8	- 88
				16	- 85
				34	- 82
PASOLINK 15	14.5-15.3	23	QPSK	4	- 92.5
		23	QPSK	8	- 89.5
		20	16 QAM	8 x 2	- 84
		20	16 QAM	16 x 2	- 81
PASOLINK ⁺ (15)	14.5-15.3	16.5	128 QAM(RS)	STM-1	- 70
		17	32 QAM(RS)	STM-0	- 80.5
		20	16 QAM (RS)	8 x 2	- 87
		20	16 QAM (RS)	16 x 2	- 84
Nateks-Mikrolink SDH	14.4- 15.35	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ15	14,4 - 15,35	19.5	QPSK	2	- 90
				8	- 86
				34	- 81
FlexyHopper 18	17.7-19.7	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 93
				4 x 2	- 90
				8 x 2	- 87
				16 x 2	- 84
Nateks-Mikrolink	17.7-19.7	16	QPSK	2 x 2	- 92
				4 x 2	- 89
				8 x 2	- 87
				16 x 2 (34)	- 84
Nateks-Mikrolink SDH	17.7-19.7	17	128 QAM	STM-1	- 70*
MINI-LINK 18-E (Микро) MINI-LINK 18-E	17.7-19.7	18 (23)	C-QPSK	2	- 94
				4	- 91
				8	- 88
				16	- 85
				34	- 82
PASOLINK 18	17.7-19.7	23	QPSK	4	- 93
		23	QPSK	8	- 90
		20	16 QAM	8 x 2	- 84

		20	16 QAM	16 x 2	- 81
PASOLINK ⁺ (18)	17.7-19.7	18	32 MLCM	STM-1	- 80
		15	128 QAM (RS)	STM-1	- 71.5
		17	32 QAM (RS)	STM-0	- 80
		20	16 QAM (RS)	8 x 2	- 87
		20	16 QAM (RS)	16 x 2	- 84
CITYLINK 155 32 TCM/18	17.7-19.7	17 (21)	32 TCM	STM-1	- 73
МИК-РЛ18	17.7-19.7	25.5	QPSK	2	- 90
				8	- 86
				34	- 81
Радиян-23	21.2-23.6	25	-	2	- 87
				8	- 84
				16	- 81
				34	- 78
MINI-LINK 23-C	21.2-23.6	20	4FSK	2	- 92
				4	- 86
				8	- 83
				16	- 80
CITYLINK 155 32 TCM/23	21.2-23.6	16.5	32 TCM	STM-1	-72.5
MINI-LINK 23-E (Микро) MINI-LINK 23-E	21.2-23.6	20	C-QPSK	2	- 93
				4	- 90
				8	- 87
				16	- 84
PASOLINK 23	21.2-23.6	23	QPSK	4	- 90.5
		23	QPSK	8	- 87.5
		20	16 QAM	8 x 2	- 83
		20	16 QAM	16 x 2	- 80
PASOLINK ⁺ (23)	21.2-23.6	18	32 MLCM	STM-1	- 80
		15	128 QAM (RS)	STM-1	- 71.5
		17	32 QAM (RS)	STM-0	- 80
		20	16 QAM (RS)	8 x 2	- 87
		20	16 QAM (RS)	16 x 2	- 84
Galaxy 23	21.2-23.6	19	32 TCM	STM-1	- 76
FlexyHopper 23	21.2-23.6	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 93
				4 x 2	- 90
				8 x 2	- 84
				16 x 2	- 81
МИК-РЛ23Р	21,2...23,6	20, 23	QPSK	2	
				8	
				34	
Nateks-Mikrolink SDH	22.0-22.6	17	128 QAM	STM-1	- 70*
	23.0-23.6				
Galaxy 26	24.3-26.5	19	32 TCM	STM-1	-76
MINI-LINK 26-C	24.3-26.5	10, 19	4FSK	2	- 88
				4	- 85
				8	- 82
				16	- 79
MINI-LINK 26-E (Микро) MINI-LINK 26-E	24.3-26.5	10, 18	C-QPSK	2	- 91
				4	- 88
				8	- 85
				16	- 82

				34	- 79
PASOLINK 26	24.3-26.5	20	QPSK	4	- 90
		20	QPSK	8	- 87
		19	16 QAM	8 x 2	-82
		19	16 QAM	16 x 2	-79
PASOLINK ⁺ (26)	24.3-26.5	17	32 MLCM	STM-1	- 79.5
		14	128 QAM (RS)	STM-1	- 71
		16	32 QAM (RS)	STM-0	- 79.5
		19	16 QAM (RS)	8 x 2	- 86
		19	16 QAM (RS)	16 x 2	- 83
FlexyHopper 26	24.3-26.5	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 92
				4 x 2	- 89
				8 x 2	- 86
				16 x 2	- 83
Nateks-Mikrolink SDH	24.5-26.5	17	128 QAM	STM-1	- 70*
Перевал Перевал-2	37-39.5	21, 25	-	2	- 73
				8	- 70
Galaxy 38	37-39.5	16.5	32 TCM	STM-1	-74.5
MINI-LINK 38-C	37-39.5	15	4FSK	2	- 87
				4	- 81
				8	- 78
				16	- 75
MINI-LINK 38-E (Микро) MINI-LINK 38-E	37-39.5	15	C-QPSK	2	-88
				4	- 85
				8	- 82
				16	- 79
				34	- 76
PASOLINK 38	37-39.5	16	QPSK	4	- 89
		16	QPSK	8	- 86
		15.5	16 QAM	8 x 2	-81
		15.5	16 QAM	16 x 2	-78
PASOLINK ⁺ (38)	37-39.5	13.5	32 MLCM	STM-1	- 78
		12.5	32 QAM (RS)	STM-0	- 78.5
		15.5	16 QAM (RS)	8 x 2	- 85
		15.5	16 QAM (RS)	16 x 2	- 82
FlexyHopper 38	37-39.5	16	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 90
				4 x 2	- 89
				8 x 2	- 86
				16 x 2	- 83
Nateks-Mikrolink SDH	37.0-39.5	15	128 QAM	STM-1	- 70*
Бист	37-39.5	18	2PSK	2	- 87
			QPSK	8	- 84
			QPSK	34	- 75
			8 PSK	51	- 69
Sandra-3	92-95	10	ОФМ-2	10	- 76

Лабораторная работа № 3

«Расчет параметров аналоговых радиорелейных линий с частотным разделением каналов»

Лабораторное задание

1. Определить граничные частоты многоканального сигнала для заданного N при ЧРК, нарисовать линейный спектр сигнала и рассчитать среднюю мощность многоканального сигнала.
2. Из таблицы параметров аналоговой радиорелейной аппаратуры выбрать аппаратуру, подходящую по числу передаваемых каналов.
3. Рассчитать полосу частот, занимаемую частотно-модулированным сигналом, и ширину полосы частот ВЧ тракта.
4. По заданным протяженности интервала и высотам подвеса антенн рассчитать уровень сигнала на входе приемника ($P_{пр 0}$).
5. Рассчитать мощность тепловых шумов на выходе телефонного канала.
6. Определить минимально допустимый множитель ослабления и соответствующий ему уровень сигнала на входе приемника.

Порядок выполнения работы

Выберите вариант задания, соответствующий последним двум цифрам номера вашей зачетной книжки из таблицы 1 Приложения А

1. Для заданного числа каналов определите граничные частоты группового спектра (F_1 и F_2) из приложения Б. Зарисуйте вид соответствующего группового спектра. Затем, рассчитайте уровень средней мощности многоканального сигнала, учитывая следующие положения:

- при $N > 240$

$$P_{cp} = p_k + 10 \lg N, \text{ дБм0}, \quad (1)$$

где:

для отечественных данных

$$p_k = -13 \text{ дБм (50 мкВт)},$$

для данных МСЭ-Т

$$p_k = -15 \text{ дБм (32 мкВт)},$$

- при $N \leq 240$

$$P_{\text{ср}} \approx -1 + 4 \lg N, \text{ дБм0.} \quad (2)$$

Рассчитайте среднюю мощность многоканального сигнала:

$$P_{\text{ср}} = 10^{\frac{P_{\text{ср,дБм0}}}{10}}, \text{ мВт.} \quad (3)$$

2. Их таблицы (приложение В) выберите (по числу каналов и рабочей длине волны) подходящую аппаратуру связи и запишите ее основные параметры.

3. Для расчета полосы частот, занимаемой ЧМ сигналом воспользуйтесь следующей методикой:

- определите значение эффективной девиации частоты

$$\Delta f_{\text{эфф}} = \Delta f_{\text{к}} \sqrt{\frac{P_{\text{ср,мВт}}}{1 \text{ мВт}}}, \text{ кГц,} \quad (4)$$

где $\Delta f_{\text{к}}$ - девиация частоты на один канал,

- определите пиковую девиацию частоты

$$\text{при } N > 240 \quad \Delta f_{\text{пик}} = 3.33 \Delta f_{\text{эфф}}, \quad (5)$$

$$\text{при } N = 60 \quad \Delta f_{\text{пик}} = 4.1 \Delta f_{\text{эфф}}, \quad (6)$$

$$\text{при } N = 120 \quad \Delta f_{\text{пик}} = 3.7 \Delta f_{\text{эфф}}. \quad (7)$$

- рассчитайте индекс частотной модуляции

$$m_f = \frac{f_{\text{пик}}}{F_2}, \quad (8)$$

- определите полосу частот, занимаемую частотно-модулированным сигналом

$$\Pi = 2F_2 \Pi = 2F_2(1 + m_f + \sqrt{m_f}), \quad (9)$$

Необходимую полосу пропускания ВЧ тракта РРЛ можно принять, численно равной удвоенной полосе Π .

4. Качество работы линии связи, определяется уровнем сигнала на входе приемника $P_{\text{пр}}$ и возможными отклонениями этого уровня при замираниях.

В этом пункте работы нужно определить уровень сигнала на входе приемника ($P_{\text{пр0}}$) при работе в свободном пространстве

$$P_{\text{пр } 0} = \frac{P_{\text{пд}} \eta_1 G_1 \eta_2 G_2 \lambda^2}{16\pi^2 R_0^2}, \text{ Вт.} \quad (10)$$

Для расчета выберите коэффициенты усиления передающей и приемной антенн (G_1 и G_2) из таблицы параметров антенн (приложение Г) и рассчитайте КПД фидерных линий (η_1 и η_2) по заданным высотам подвеса антенн

$$\eta = 10^{-0.1 a_{\text{ф}} l_{\text{ф}}}, \quad (11)$$

где $a_{\text{ф}}$ - погонное затухание в фидерной линии (0.04-0.09 дБ/м),
 $l_{\text{ф}} = h + l_{\text{гор}}$, м - длина фидерной линии,
 h - высота (м) h_1 или h_2 ,
 $l_{\text{гор}}$ - длина горизонтальной части фидерной линии (10 - 20 м).

5. Мощность теплового шума на выходе верхнего по частоте ТЛФ канала при распространении сигнала в свободном пространстве определяется по формуле:

$$P_{\text{шт } i} = 10^9 \frac{n_{\text{ш}} k T \Delta F_{\text{к}} k_{\text{п}}^2}{P_{\text{пр } 0}} \left(\frac{F_2}{\Delta f_{\text{к}}} \right)^2 \beta_{\text{пр}}, \text{ пВт,} \quad (12)$$

где $n_{\text{ш}}$ - коэффициент шума приемника, ед.,
 $\Delta F_{\text{к}}$ - ширина полосы частот одного канала (3100 Гц);
 k - постоянная Больцмана ($1.38 \cdot 10^{-23}$, Вт/Гц град),
 T - абсолютная температура (290 К),
 $k_{\text{п}}$ - психометрический коэффициент (0.75);
 $P_{\text{пр } 0}$ - мощность сигнала на входе приемника (формула 10),
 Вт;
 $\beta_{\text{пр}}$ - коэффициент, учитывающий изменение девиации частоты при введении предискажений (0.4).

6. В этом пункте работы необходимо определить примерное значение минимально допустимого множителя ослабления ($V_{\text{мин доп}}$). Где $V_{\text{мин доп}}$ - такое ослабление сигнала на интервале РРЛ, при котором мощность шума на выходе ТЛФ канала равна **47500 пВт**.

Этот параметр является основой для расчета устойчивости связи и, в большинстве случаев, составляет величину 30 - 50 дБ.

Расчет необходимо провести по следующей формуле:

$$V_{\text{мин.доп}} = \sqrt{\frac{P_{\text{шт } i}}{P_{\text{шт. макс. доп}}}} \quad (13)$$

где $P_{\text{шт макс доп}} = 47500 - P_{\text{ш пост}}$, (14)

$P_{\text{ш пост}}$ - мощность шумов линии связи, величина которых не зависит от величины замираний сигнала на интервале РРЛ. В работе принять эту величину в пределах 3000 - 7000 пВт.

Полученное значение $V_{\text{мин доп}}$ необходимо перевести в дБ по формуле:

$$V_{\text{мин доп, дБ}} = 20 \lg (V_{\text{мин доп}}). \quad (15)$$

Если значение $V_{\text{мин доп}}$ получится меньше 30 дБ, то нужно улучшить энергетические показатели на интервале РРЛ. Для этого следует выбрать:

- антенны с большим коэффициентом усиления;
- аппаратуру с большей мощностью передатчика;
- аппаратуру с меньшим коэффициентом шума приемника;
- фидерные линии с меньшим погонным затуханием.

Если значение $V_{\text{мин доп}}$ получится неоправданно большим (больше 50 дБ), то нужно, наоборот, ухудшить энергетические показатели на интервале РРЛ.

В заключение определите мощность сигнала на входе приемника при $V = V_{\text{мин.доп}}$:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пр0}} (V_{\text{мин доп}})^2. \quad (16)$$

Результаты расчета записать в таблицу.

N	.....
F ₂ , кГц	.....
P _{ср} , мВт (P _{ср} , дБм0)	.....
Δf _{эфф} / Δf _{шик} , МГц	.....
mf	.....
П, МГц	.....

$P_{\text{шті}}, \text{ пВт}$	.....
$P_{\text{пр0}} \text{ Вт} / P_{\text{пр0}}, \text{ дБм}$	.....
$V_{\text{мин доп}}, \text{ раз} / V_{\text{мин доп}}, \text{ дБ}$	.....
$P_{\text{пр}}, \text{ Вт} / P_{\text{пр}}, \text{ дБм}$	.....

Приложение А

Таблица А1 - Исходные данные для расчетов

Последние две цифры номера зач. книжки	N	L / L _{эт} , км	λ , см	R ₀ , км	h ₁ /h ₂ ,м
01, 51	60	1400/1400	3.7	36	45/34
02, 52	120	820/1400	3.7	32	23/43
03, 53	300	1400/1400	15.8	65	45/60
04, 54	600	2500/2500	8.2	56	30/40
05, 55	720	2160/2500	8.2	60	50/60
06, 56	1020	2300/2500	5.07	45	50/40
07, 57	1320	1800/2500	5.07	50	55/34
08, 58	1920	1400/2500	5.07	41	30/45
09, 59	60	700/1400	3.7	29	40/40
10, 60	120	1000/1400	3.7	34	30/25
11, 61	300	1050/1400	15.8	64	56/60
12, 62	600	2100/2500	8.2	48	56/34
13, 63	720	1760/2500	8.2	52	40/45
14, 64	1020	980/2500	8.2	48	34/58
15, 65	1320	780/2500	5.07	46	40/40
16, 66	1920	1950/2500	5.07	50	50/56
17, 67	60	1200/1400	3.7	31	40/30
18, 68	120	600/1400	3.7	30	46/56
19, 69	300	400/600	3.7	33	43/45
20, 70	600	1900/2500	8.2	50	40/30
21, 71	720	1100/2500	8.2	54	60/45
22, 72	1020	830/2500	8.2	53	50/60
23, 73	1320	1100/2500	5.07	48	50/48
24, 74	1920	1400/2500	5.07	49	45/45
25, 75	60	340/1400	3.7	33	24/34
26, 76	120	600/1400	3.7	29	34/35
27, 77	300	600/600	3.7	30	45/44
28, 78	600	1700/2500	8.2	50	51/52
29, 79	720	1200/2500	8.2	52	46/48
30, 80	1020	1200/2500	8.2	53	57/60
31, 81	1320	1000/2500	5.07	46	48/45

32, 82	1920	1680/2500	5.07	48	39/42
33, 83	300	340/1400	15.8	67	50/60
34, 84	600	780/2500	8.2	49	35/45
35, 85	720	2050/2500	8.2	55	45/45
36, 86	1020	2500/2500	8.2	54	40/40
37, 87	1320	1350/2500	5.07	46	45/45
38, 88	1920	1230/2500	5.07	48	50/51
39, 89	120	260/1400	3.7	33	34/36
40, 90	300	360/600	3.7	32	23/26
41, 91	600	1570/2500	8.2	52	46/48
42, 92	720	1250/2500	8.2	57	52/53
43, 93	1020	1400/2500	8.2	49	57/57
44, 94	1320	2000/2500	5.07	46	43/43
45, 95	1920	1800/2500	5.07	43	40/40
46, 96	300	500/500	3.7	34	41/23
47, 97	600	2000/2500	8.2	49	36/36
48, 98	720	1800/2500	8.2	48	34/42
49, 99	1320	2300/2500	5.07	41	44/45
50, 00	1920	2500/2500	5.07	42	50/54

Где: N - число ТЛФ каналов в стволе;

$L / L_{эт}$ - заданная протяженность линии связи / протяженность гипотетической (эталонной) линии;

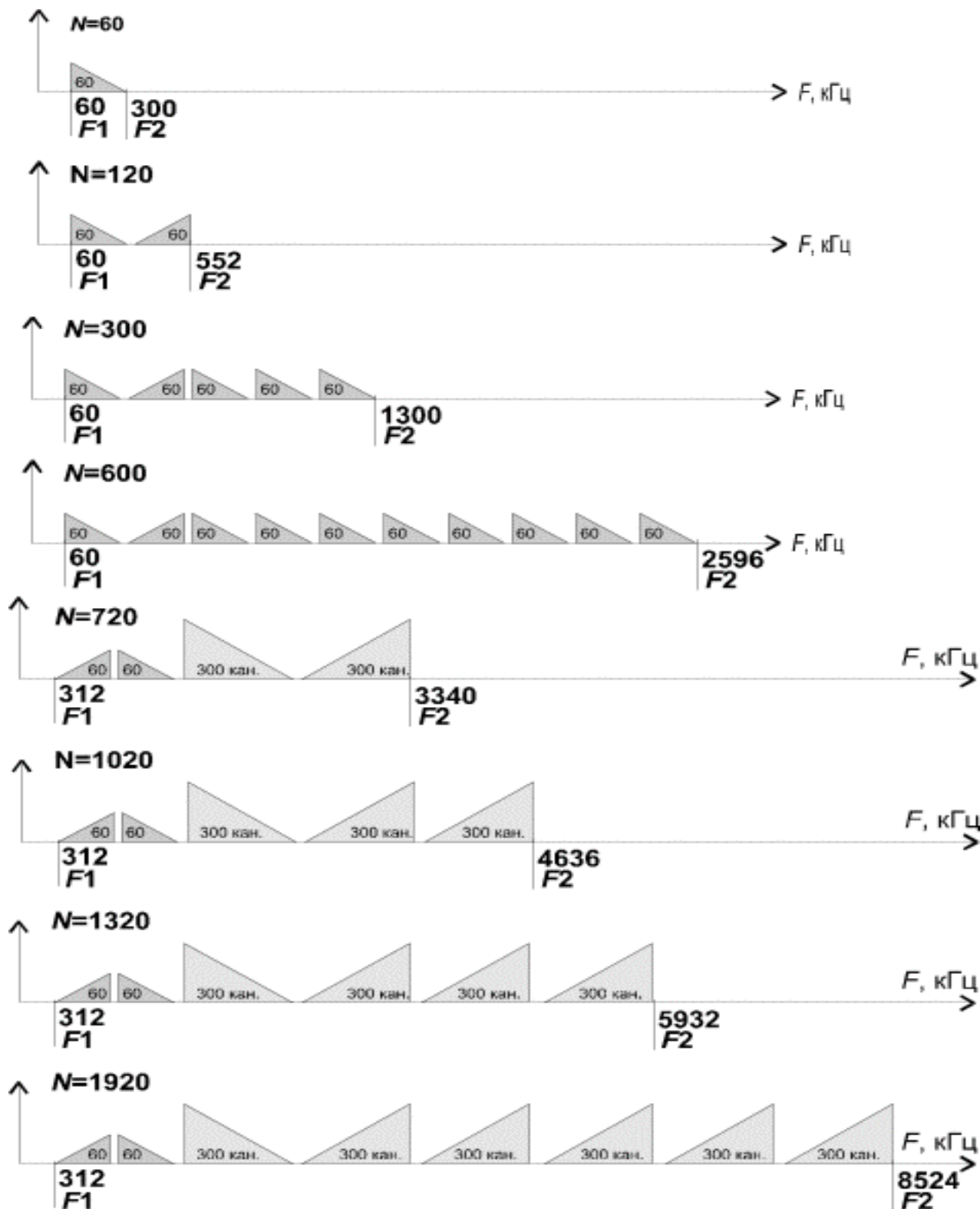
λ - средняя длина волны рабочего диапазона частот;

R_0 - средняя протяженность интервала;

h_1/h_2 - высоты подвеса антенн на интервале линии связи.

Приложение Б

Линейные спектры многоканальных сигналов с частотным разделением каналов



Приложение В

Технические характеристики аналоговой радиорелейной аппаратуры

Параметры	Курс-2М	Курс-4	Курс-6	Курс-8	Рассвет-2	Восход-М	Радуга-4	Электроника-Связь 6-1	Трал-8 60/120
Диапазон частот, ГГц	1.7-2.1	3.4-3.9	5.6-6.2	7.9-8.4	3.4-3.9	3.4-3.9	3.4-3.9	5.6-6.2	7.9-8.4
Число каналов, N	300	720	1320	300	600	1020	1920	1920	60/120
Мощность Pd, Вт/дБм	1.5 / 32	0.5 / 27	7.5 / 39	0.4 / 26	5 / 37	10 / 40	2 / 33	1 / 30	0.3 / 25
Коэф. шума Пр, ед/дБ	5.6 / 7.5	8 / 9	10 / 10	8 / 9	25 / 14	10 / 10	2.8 / 4.5	2.8 / 4.5	8 / 9
Δf_k , кГц	200	200	140	200	200	200	140	140	200
Система резерв.	2+1	3+1	3+1	3+1	3+1	постан-стан-цион.	3+1	3+1	1+1

Приложение Г

Коэффициенты усиления некоторых типов антенн РРЛ, дБ

Тип антенны	Диапазон частот, ГГц				
	1.7 - 2.1	3.4 - 3.9	5.6 - 6.2	7.6 - 8.4	10.7 - 11.7
РПА-2П	-	39.5	43	-	-
АДЭ-5	38	43.5	47.5	-	-
АДЭ-3.5	35	40.5	43.6	46.3	-
АМДУ-2.5	-	37.7	41.9	44.7	-
АМДУ-1.75	-	-	38.8	41.6	44.4
ПАС	31	40	43	45	-

Дополнения приложения Г - Параметры некоторых типов антенн РРЛ

f, ГГц	Тип	G, дБ	Габариты, м	Изготовитель
2	АДЭ-3.5	35	D - 3.5	Россия
	АДЭ-5	38.5	D - 4.9	Россия
4	АПА 5/6 ПН	38.2	D - 3	НЕС (Япония)
	РПА-2П	39.5	3*2*6	Россия
	НРХ10-44D	40.3	D - 3.3	Эндрю (США)
	НРХ12-44D	42.5	D - 3.7	Эндрю (США)
	АДЭ-5	43.5	D - 4.9	Россия
6	АПА 5/6 ПН	41.4	D - 3	НЕС (Япония)
	АДЭ-3.5	42.5	D - 3.5	Россия
	РПА-2П	43	3*2*6	Россия
	НРХ12-56D	44.5	D -3.7	Эндрю (США)
8	АНК1.1/8	37.6	D - 1.1	Россия
	АМД-1.75	41.5	D - 1.75	Россия
	АМД-2.5	44.5	D - 2.5	Россия
	АДЭ-3.5	46.3	D - 3.5	Россия
11	АДЭ-1	38.5	D - 1	Россия
	АНК1.1/11	40.6	D - 1.1	Россия
	НРХ6-107D	44	D - 1.8	Эндрю (США)
	АДУ-1.75/11	44.5	D - 1.75	Россия

В диапазонах частот выше 12 ГГц используются антенны диаметром 0.3 - 1.2 м.

Лабораторная работа № 4 «Построение диаграммы уровней на интервале ЦРРЛ»

Лабораторное задание

1. Выбрать диапазон рабочих частот и тип оборудования цифровой РРЛ.
2. Выбрать диаметры антенн и рассчитать их коэффициенты усиления.
3. Определить ослабление сигнала в свободном пространстве.
4. Определить потери радиосигнала в газах атмосферы.
5. Рассчитать уровень сигнала на входе приемника без замираний.
6. Определить запас на замирания.
7. Построить диаграмму уровней на интервале ЦРРЛ.

На рис. 1 показаны структурная схема одного интервала линии связи и диаграмма уровней, характеризующая значения сигнала в относительных единицах, в основных точках структурной схемы.

Из диаграммы уровней видно, что сигнал излучается передатчиком с уровнем $P_{пд}$, проходит через разделительный фильтр (РФ), за счет потерь в котором сигнал уменьшится, и поступает через фидер в передающую антенну. За счет потерь в фидере $L_{ф1}$ уровень сигнала еще уменьшится, а в передающей антенне увеличится на величину $G1$. При распространении сигнала по интервалу РРЛ (протяженностью $R0$, на рабочей частоте f) уровень сигнала уменьшится за счет ослабления свободного пространства, потерь в газах атмосферы и некоторых дополнительных факторов. Общее ослабление сигнала за счет этих причин может достигнуть 130 - 140 дБ и больше. В приемной антенне уровень сигнала увеличится на величину $G2$, затем уменьшится в приемной фидерной линии, в разделительном фильтре и поступит на вход приемника с уровнем $P_{пр}$. Это значение получается в отсутствии замираний сигнала на пролете РРЛ. Запас на замирания M является разницей между значениями уровня сигнала на входе приемника $P_{пр}$ и пороговым значением $P_{пр пор}$, которое определяется из параметров конкретной аппаратуры цифровых РРЛ.

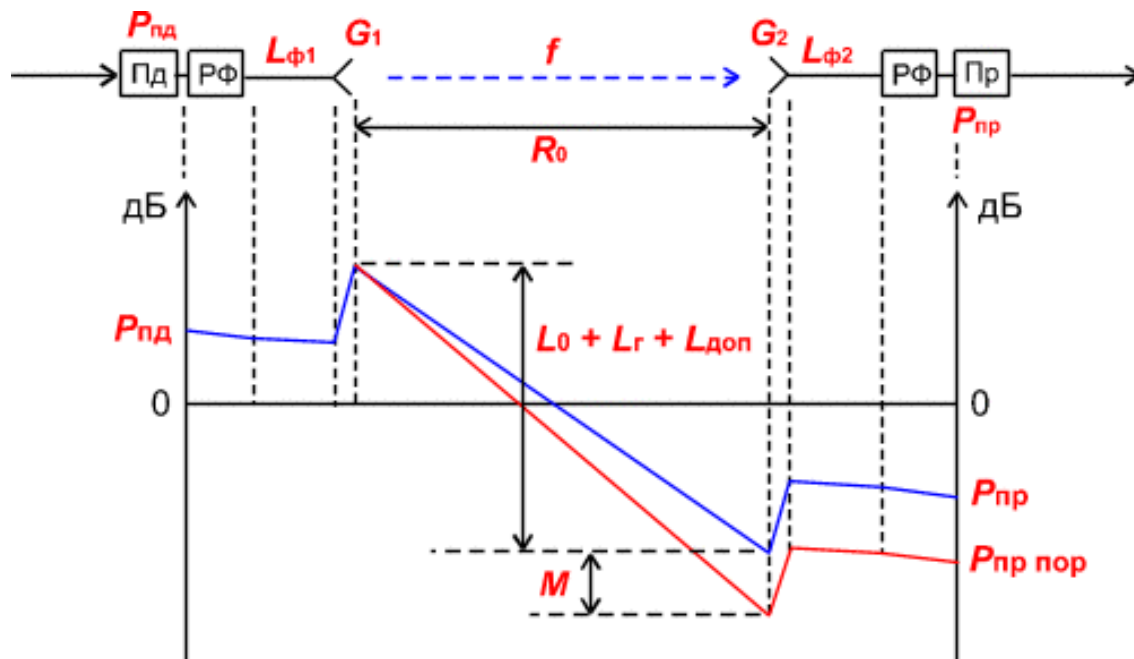


Рисунок 1 - Диаграмма уровней

В практической работе необходимо по заданным величинам выбрать диапазон рабочих частот, тип аппаратуры и параметры антенн таким образом, чтобы запас на замирания M составил величину порядка 40 дБ.

Порядок выполнения работы

Для выполнения работы выберите вариант задания из **таблицы 1.**

1. Из **приложения А** выберите 3 типа оборудования ЦРРЛ, удовлетворяющих заданной скорости цифрового потока и работающих в разных диапазонах частот.
2. Выберите диаметры антенн (типовые значения 0.3, 0.5, 0.9 и 1.2 м) и рассчитайте их коэффициенты усиления:

$$G = 20 \lg(D) + 20 \lg(f) + 17.5, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где D - диаметр антенны, м;

f - рабочая частота, ГГц.

При выборе антенн необходимо учитывать, что на практике не применяются антенны с коэффициентами усиления большими, чем 45 дБ.

3. Определите ослабление сигнала в свободном пространстве для разных диапазонов частот по формуле:

$$L_0 = 20 \lg (4.189 \cdot 10^4 R_0 f), \text{ дБ}, \quad (2)$$

где R_0 - протяженность интервала РРЛ, км,

4. Определите погонные потери радиосигнала в атомах кислорода γ_0 и в водяных парах γ_n для разных частот по графику (приложение Б) и рассчитайте полные потери в газах атмосферы:

$$L_\Gamma = (\gamma_0 + \gamma_n) R_0, \text{ дБ}. \quad (3)$$

5. Рассчитайте уровень сигнала на входе приемника при отсутствии замираний:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пд}} + G_1 + G_2 - L_0 - L_{\text{ф1}} - L_{\text{ф2}} - L_\Gamma - L_{\text{рф}} - L_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{пд}}$ - уровень мощности передатчика, дБм;

$L_{\text{ф1}}, L_{\text{ф2}}$ - ослабление сигнала в фидерных линиях, дБ. Так как в современной аппаратуре фидерные линии практически отсутствуют (приемопередатчики и антенны объединены в один блок), потери в $L_{\text{ф1}}$ и $L_{\text{ф2}}$ можно принять равными по 0.5 дБ;

$L_{\text{рф}}$ - ослабление сигнала в разделительных фильтрах (для практической работы примите равным 0,2 дБ);

$L_{\text{доп}}$ - дополнительные потери, складывающиеся из потерь в антенных обтекателях $L_{\text{ао}}$ и потерь от перепада высот приемной и передающей антенн $L_{\text{пв}}$. ($L_{\text{доп}} = 1$ дБ).

6. Определите запасы на замирания для разных диапазонов рабочих частот, антенн и аппаратуры.

$$M = P_{\text{пр}} - P_{\text{пр пор}}(10^{-3}), \quad (5)$$

где $P_{\text{пр пор}}(10^{-3})$ - пороговый уровень сигнала на входе приемника при коэффициенте ошибок $k_{\text{ош}} = 10^{-3}$ (определяется из параметров аппаратуры).

Из рассчитанных вариантов выберите наиболее подходящий для данного интервала и сделайте заключение.

7. На последнем этапе работы постройте диаграмму уровней на интервале ЦРРЛ по аналогии с рисунком 1.

Результаты работы по пп. 1 - 5 оформить в виде таблиц, содержащих данные по нескольким диапазонам частот.

Форма отчетности

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

к) исходные данные в соответствии с вариантом.

– Номер зачетной книжки

– Общие данные для расчета взятые из Приложения А по форме, представленной ниже:

Скорость цифрового потока в ЦРРЛ V , Мбит/с	.....
Протяженность интервала R_0 , км	.....

л) Ход выполнения расчетов.

м) Результирующая диаграмма уровней на интервале ЦРРЛ

н) Конечные результаты выполнения практической работы запишите в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Тип аппаратуры	.....
	- f , ГГц
	- $P_{\text{пд}}$, дБм
	- $P_{\text{пор}} (10^{-3})$, дБм
Диаметр антенны D , м;	.....
Коэффициент усиления $G_{\text{пд с}}$, дБ	.....
Ослабление сигнала в свободном пространстве L_0 , дБ	.....
Уровень сигнала на входе приемника $P_{\text{пр}}$, дБ	.....
Запас на замирания M , дБ	.....

Таблица 1 – Исходные данные для расчетов

Последние две цифры номера зач. книжки	V , Мбит/с	R_0 , км	Последние две цифры номера зач. книжки	V , Мбит/с	R_0 , км
01, 51	2	28	26, 76	2	23
02, 52	4	12	27, 77	4	20
03, 53	8	10	28, 78	8	19
04, 54	16	8	29, 79	16	18
05, 55	34	11	30, 80	34	17
06, 56	2	30	31, 81	2	15
07, 57	4	26	32, 82	4	14
08, 58	8	24	33, 83	8	12
09, 59	16	20	34, 84	16	18
10, 60	34	14	35, 85	34	11
11, 61	2	25	36, 86	2	12
12, 62	4	24	37, 87	4	14
13, 63	8	23	38, 88	8	16
14, 64	16	15	39, 89	16	18
15, 65	34	10	40, 90	34	20
16, 66	2	12	41, 91	2	22
17, 67	4	18	42, 92	4	24
18, 68	8	16	43, 93	8	26
19, 69	16	19	44, 94	16	28
20, 70	34	20	45, 95	34	8
21, 71	2	10	46, 96	2	10
22, 72	4	17	47, 97	4	23
23, 73	8	30	48, 98	8	15
24, 74	16	26	49, 99	16	18
25, 75	34	9	50, 00	34	14

V округленное значение скорости цифрового потока в ЦРРЛ,
 R_0 - средняя протяженность интервала.

Приложение А

Некоторые типы аппаратуры цифровых РРЛ

Аппаратура	f , ГГц	$R_{пд}$, дБм	Модуляция	Ско- рость, Мбит/с	$R_{пор}$ (10^{-3}), дБм
Эриком - 11	10.7-11.7	16	ЧММС	2	- 86
				8	- 83
Радан - 2	10.7-11.7	17	ЧМ	1	- 78
Радан-МГ- 120/480	10.7-11.7	18.5	ММС	34	- 73
Радан-МГ- 11-120	10.7-11.7	18.5	ММС	8	- 87
Радан-МС- 11-15/30	10.7-11.7	18	ЧМ	2	- 87
Nateks- Mikrolink SDH	10.75- 11.25	24	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ11	10.7-11.7	28.5	QPSK	2	- 90
				8	- 86
				34	- 81
SRA 1/1S	12.7-13.3	22.5	32 TCM	STM-0	- 80.5
NL 183	12.7-13.3	24	40ФМ	8	- 88
Бист-13	12.7-13.3	10 - 26	-	2	- 90
				8	- 87
				16	- 78
PASOLINK ⁺ (13)	12.7-13.3	16.5	128QAM(RS)	STM-1	- 70
		16.5	32 QAM(RS)	STM-0	- 80
		19.5	16 QAM (RS)	8 x 2	- 86.5
		19.5	16 QAM (RS)	16 x 2	- 83.5
PASOLINK 13	12.7-13.3	23	QPSK	4	- 92.5
		23	QPSK	8	- 89.5
		20	16 QAM	8 x 2	- 83.5
		20	16 QAM	16 x 2	- 80.5
SAGEM/LINK	12.7-13.2	22	QPSK	2 x 2	- 98
				4 x 2	- 95

				8 x 2 16 x 2 (34)	- 93 - 89
Nateks- Mikrolink	12.75- 13.25	20	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 92 - 89 - 87 - 84
FlexyHopper	12.7-13.3	20	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 87 - 84
Nateks- Mikrolink SDH	12.75- 13.25	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ13	12,75 - 13,25	28.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
FlexyHopper	14.5-15.3	20	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 87 - 84
SRA 1/1S	14.5-15.3	21.5	32 TCM	STM-0	- 80
Nateks- Mikrolink	14.5-15.3	16	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 92 - 89 - 87 - 84
NL 185	14.5-15.3	21	40ФМ	8	- 88
Радиан-15	14.5-15.3	20 (26)	-	2 8 16 34	- 89 - 86 - 83 - 80
Радиус-15	14.5-15.3	23	QPSK	2	- 87
MINI-LINK 15-C	14.5-15.3	18 (25)	4FSK	2 8 16	- 93 - 87 - 84

				34	- 81
MINI-LINK 15-Е (Микро)	14.5-15.3	18 (25)	C-QPSK	2 4 8	- 94 - 91 - 88
MINI-LINK 15-Е				16 34	- 85 - 82
PASOLINK 15	14.5- 15.3	23 23 20 20	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 92.5 - 89.5 -84 -81
PASOLINK ⁺ (15)	14.5-15.3	16.5 17 20 20	128 QAM(RS) 32 QAM(RS) 16 QAM (RS) 16 QAM (RS)	STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 70 - 80.5 - 87 - 84
Nateks- Mikrolink SDH	14.4- 15.35	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ15	14,4 - 15,35	19.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
FlexyHopper 18	17.7-19.7	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 87 - 84
Nateks- Mikrolink	17.7-19.7	16	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 92 - 89 - 87 - 84
Nateks- Mikrolink SDH	17.7-19.7	17	128 QAM	STM-1	- 70*
MINI-LINK 18-Е (Микро)	17.7- 19.7	18 (23)	C-QPSK	2 4 8	- 94 - 91 - 88
MINI-LINK				16	- 85

18-E				34	- 82
PASOLINK 18	17.7- 19.7	23	QPSK	4	- 93
		23	QPSK	8	- 90
		20	16 QAM	8 x 2	- 84
		20	16 QAM	16 x 2	- 81
PASOLINK ⁺ (18)	17.7-19.7	18	32 MLCM	STM-1	- 80
		15	128 QAM	STM-1	- 71.5
		17	(RS)	STM-0	- 80
		20	32 QAM (RS)	8 x 2	- 87
		20	16 QAM (RS)	16 x 2	- 84
CITYLINK 155 32 TCM/18	17.7- 19.7	17	32 TCM	STM-1	- 73
		(21)			
МИК-РЛ18	17.7-19.7	25.5	QPSK	2	- 90
				8	- 86
				34	- 81
Радиан-23	21.2-23.6	25	-	2	- 87
				8	- 84
				16	- 81
				34	- 78
MINI-LINK 23-С	21.2-23.6	20	4FSK	2	- 92
				4	- 86
				8	- 83
				16	- 80
CITYLINK 155 32 TCM/23	21.2-23.6	16.5	32 TCM	STM-1	-72.5
MINI-LINK 23-Е (Микро)	21.2-23.6	20	С-QPSK	2	- 93
				4	- 90
MINI-LINK 23-Е	21.2-23.6	20	С-QPSK	8	- 87
				16	- 84
				34	- 81
PASOLINK 23	21.2-23.6	23	QPSK	4	- 90.5
		23	QPSK	8	- 87.5
		20	16 QAM	8 x 2	- 83

		20	16 QAM	16 x 2	- 80
PASOLINK ⁺ (23)	21.2-23.6	18	32 MLCM	STM-1	- 80
		15	128QAM(RS)	STM-1	- 71.5
		17	32 QAM (RS)	STM-0	- 80
		20	16 QAM (RS)	8 x 2	- 87
		20	16 QAM (RS)	16 x 2	- 84
Galaxy 23	21.2-23.6	19	32 TCM	STM-1	- 76
FlexyHopper 23	21.2-23.6	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 93
				4 x 2	- 90
				8 x 2	- 84
				16 x 2	- 81
МИК-ПЛ23Р	21,2...23 ,6	20, 23	QPSK	2	
				8	
				34	
Nateks- Mikrolink SDH	22.0-22.6	17	128 QAM	STM-1	- 70*
	23.0-23.6				
Galaxy 26	24.3-26.5	19	32 TCM	STM-1	-76
MINI-LINK 26-C	24.3- 26.5	10, 19	4FSK	2	- 88
				4	- 85
				8	- 82
				16	- 79
MINI-LINK 26-E (Микро)	24.3-26.5	10, 18	C-QPSK	2	- 91
				4	- 88
				8	- 85
				16	- 82
				34	- 79
PASOLINK 26	24.3-26.5	20	QPSK	4	- 90
		20	QPSK	8	- 87
		19	16 QAM	8 x 2	-82
		19	16 QAM	16 x 2	-79
PASOLINK ⁺ (26)	24.3-26.5	17	32 MLCM	STM-1	- 79.5
		14	128 QAM(RS)	STM-1	- 71
		16	32 QAM (RS)	STM-0	- 79.5
		19	16 QAM (RS)	8 x 2	- 86
		19	16 QAM (RS)	16 x 2	- 83
FlexyHopper	24.3-26.5	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2	- 92

26				4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 89 - 86 - 83
Nateks- Mikrolink SDH	24.5-26.5	17	128 QAM	STM-1	- 70*
Перевал Перевал-2	37-39.5	21, 25	-	2 8	- 73 - 70
Galaxy 38	37-39.5	16.5	32 TCM	STM-1	-74.5
MINI-LINK 38-C	37-39.5	15	4FSK	2 4 8 16	- 87 - 81 - 78 - 75
MINI-LINK 38-E (Микро) MINI-LINK 38-E	37-39.5	15	C-QPSK	2 4 8 16 34	-88 - 85 - 82 - 79 - 76
PASOLINK 38	37-39.5	16 16 15.5 15.5	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 89 - 86 -81 -78
PASOLINK ⁺ (38)	37-39.5	13.5 12.5 15.5 15.5	32 MLCM 32 QAM (RS) 16 QAM (RS) 16 QAM (RS)	STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 78 - 78.5 - 85 - 82
FlexyHopper 38	37-39.5	16	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 90 - 89 - 86 - 83
Nateks- Mikrolink SDH	37.0-39.5	15	128 QAM	STM-1	- 70*
Бист	37-39.5	18	2PSK QPSK	2 8	- 87 - 84

			QPSK	34	- 75
			8 PSK	51	- 69
Sandra-3	92-95	10	ОФМ-2	10	- 76

Виды модуляции в цифровых системах связи

<p>ЧМ - частотная модуляция</p> <p>ММС - модуляция с минимальным сдвигом</p> <p>4ОФМ - четырехпозиционная относительная фазовая модуляция</p> <p>ОФМ-2 - двухпозиционная относительная фазовая модуляция</p> <p>8 PSK - восьмипозиционная фазовая модуляция</p>	<p>4 FSK - четырехпозиционная частотная модуляция</p> <p>QPSK - квадратурная фазовая модуляция</p> <p>C-QPSK - квадратурная фазовая модуляция с постоянной огибающей (непрерывной фазой)</p> <p>$\pi/4$ DQPSK - квадратурная фазовая модуляция с относительным кодированием и сдвигом $\pi/4$</p>	<p>N QAM - N-позиционная квадратурная амплитудная модуляция</p> <p>N TCM - N-позиционная кодированная модуляция с решетчатым кодированием</p> <p>N MLCM - N-позиционная многоуровневая кодированная модуляция</p> <p>RS - код Рида-Соломона</p>
--	---	---

Основные параметры некоторых видов модуляции

(данные на отношения сигнал/шум приближительны, так как они зависят от способа демодуляции, типа помехоустойчивого кодирования, фильтрации и пр.)

Вид модуляции	Тип модуляции	Сигнал/шум, дБ ($k_{\text{ош}}=10^{-6}$)	Δf_m
Двухпозиционная	ЧМ (2 ЧМ, FSK)	13.4	B
Двухпозиционная	ФМ (2 ФМ, PSK)	10.5	B
Многопозиционная, классическая	4 ЧМ (4 FSK)	23.1	B/2
Многопозиционная, классическая	4 ФМ (4 PSK, QPSK)	13.5	B/2
Многопозиционная,	8 ФМ (8 PSK)	18.8	B/3

классическая			
Многопозиционная, классическая	16 КАМ (16 QAM)	20.5	B/4
Многопозиционная, классическая	64 КАМ (64 QAM)	26.5	B/6
Многопозиционная, классическая	256 КАМ (256 QAM)	32.6	B/8
Классическая модуля- ция с предкоррекцией ошибок (FEC)	16 КАМ (16 QAM) с FEC	17.6	B(1+r)/4
Классическая модуля- ция с предкоррекцией ошибок (FEC)	64 КАМ(64 QAM) с FEC	23.8	B(1+r)/6
Кодированная с рас- ширением алфавита	32 TCM	17.6	B/4
	128 TCM	23.6	B/6
Кодированная с уве- личением скорости	16 MLCM	15.6	B/3.5
	64 MLCM	21.7	B/5.5

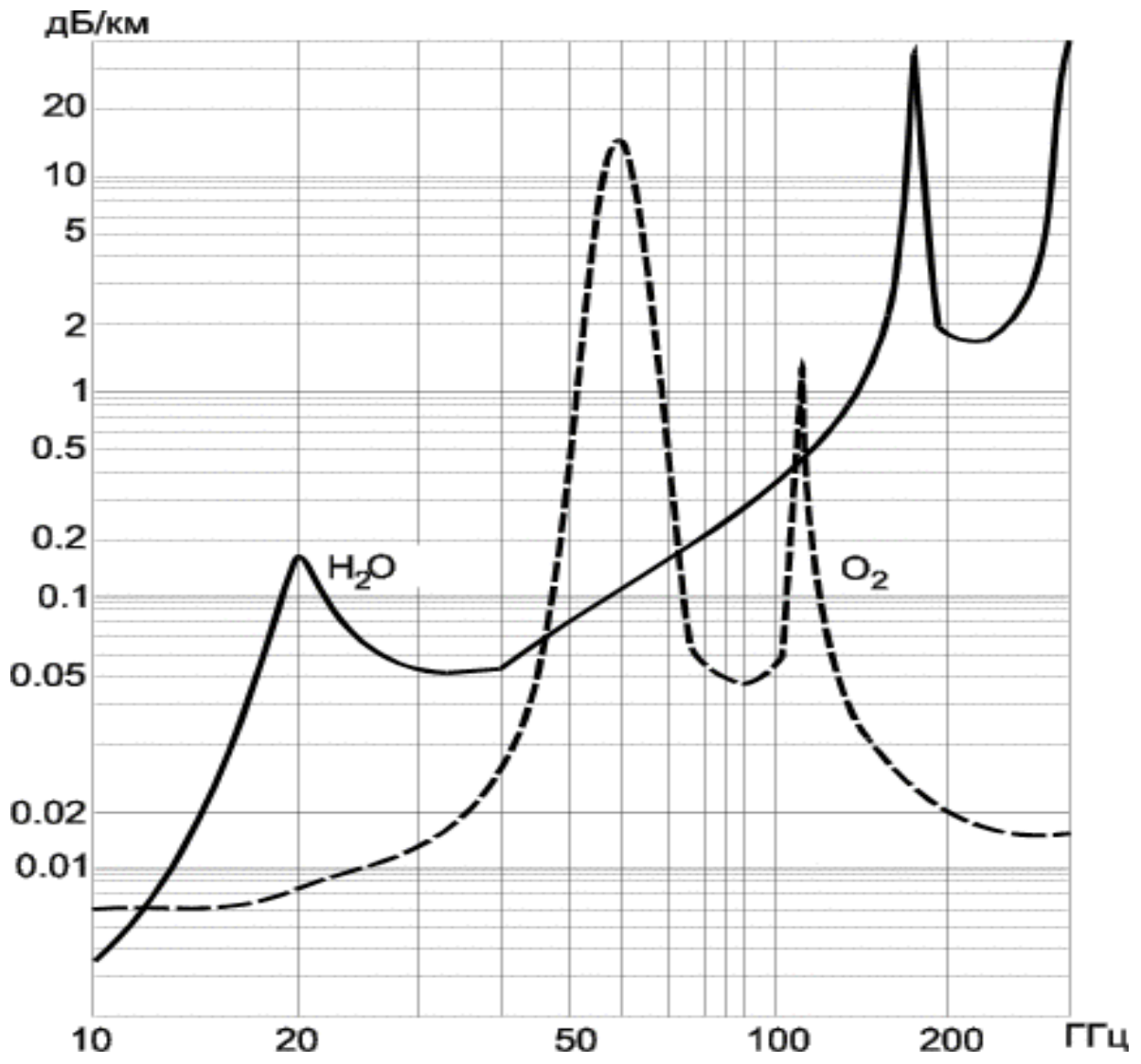
Δf_m - полоса частот, занимаемая модулированным сигналом,
B - скорость цифрового потока,
r - избыточность помехоустойчивого кодирования.

STM-0 - синхронный транспортный модуль нулевого уровня (51.84 Мб/с)

STM-1 - синхронный транспортный модуль первого уровня (155.52 Мб/с)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Погонные потери радиосигнала в газах атмосферы



Лабораторная работа № 5 «Построение зонной цифровой радиорелейной линии»

Введение

Методические указания разработаны с целью освоения студентами принципов планирования радиорелейных систем передачи с помощью программного продукта RPS (Radio Planning System). Перед выполнением определенных действий представлены соответствующие основные теоретические положения. Методические указания помогут студентам в изучении практического материала и приобретении навыков решения конкретных практических задач.

Программный пакет RPS представляет собой среду, позволяющую производить приближенный расчет параметров, а также моделирование и разработку различных систем и сетей мобильной связи.

Для работы программной среды к аппаратуре предъявляются следующие требования:

- персональный компьютер ibm pc, рекомендуется процессор intel pentium 100мгц и выше;
 - оперативная память не менее 16 mb (рекомендуется 32 mb);
 - монитор 15" (рекомендуется 17");
 - разрешение дисплея не ниже 800x600 точек в режиме 256 цветов;
 - объем пространства на жестком диске определяется размером базы данных с картами местности и объемом хранимых результатов расчета. для работы rps в минимальной конфигурации требуется около 20 mb;
 - операционная система windows95 или windows nt;
- Эффективность использования пакета RPS определяется:
- достаточно простым интерфейсом пользователя;
 - большим количеством моделей функциональных блоков;
 - возможностью размещать элементы сети, а также редактировать карту местности;
 - разнообразием видов функциональных элементов систем подвижной связи.

1. Интерфейс программного пакета RPS

1.1 Возможности пакета RPS

Программный пакет RPS предназначен для планирования радиорелейных и сотовых сетей связи. RPS позволяет проводить частотное планирование и выполнять все необходимые расчеты для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети на основе реальных данных о рельефе местности.

1.2 Функции RPS

- размещение базовых станций с привязкой по географическим координатам или по месту на цифровой электронной карте;
- размещение препятствий (не отраженных на цифровой карте) с привязкой по географическим координатам или по месту на цифровой электронной карте;
- редактирования карты местности путем задания дополнительных высот для отдельных типов местности (лес, городские кварталы и т.п.);
- задание и редактирование карты трафика на рассматриваемой территории;
- поддержка локальных баз данных оборудования: антенн, диаграмм направленности, приемопередатчиков;
- отображение профиля местности между двумя выбранными точками;
- определение и отображение точек прямой видимости в заданной окрестности базовой станции;
- расчет и отображение уровня принятого сигнала в заданной окрестности базовой станции
- задание коэффициентов, корректирующих потери пространства, для отдельных типов местности;
- вывод результатов расчетов на печатающее устройство;
- преобразование электронных карт из форматов mapinfo и planet во внутренний формат gps;

1.2.1 Для радиорелейных сетей:

- формирование радиолиний, соединяющих две радиорелейные станции;
- расчет потерь распространения сигнала между передающей и приемной антеннами радиолинии;
- расчет уровня принятого сигнала для прямой и обратной радиолинии;
- расчет надежности радиолинии;
- оценка дальней интерференции - помех, создаваемых радиолинии, другими станциями и радиолиниями;
- оценка ближней интерференции – помех, создаваемых передатчиками, расположенными в одном месте, приемникам радиолиний;

2. Моделирование систем связи в RPS

2.1 Порядок работы с RPS:

- Задать общие параметры для нового проекта, имена рабочих каталогов и выбрать тип первой сети проекта.
- Открыть новый проект. При этом создается описание первой «пустой» сети.
- Установить параметры сети, выбрав радиостандарт или задав собственный набор сетевых параметров.
- Настроить параметры, описывающие свойства различных типов местности: высоту, коэффициенты, корректирующие потери распространения, распределение трафика.
- Осуществить планирование сети связи. В ходе этой операции на цифровой карте размещаются базовые станции и выбираются их параметры. В радиорелейных сетях устанавливаются связи между станциями (формируются радиолинии). При необходимости в базы данных оборудования добавляются новые элементы.
- Выполнить необходимые расчеты и распечатать (или сохранить) результаты. В расчетах во внимание принимаются лишь объекты, определенные в данной сети.

В рамках одного проекта можно сформировать несколько сетей разных типов. Однако, в данной версии RPS наличие других сетей не учитывается в расчетах, т.е. сети независимы друг от друга.

2.2 Создание проекта в RPS

Проект RPS включает в себя всю информацию, связанную с планированием радиосетей в некотором регионе (рабочей области), который определяется цифровой картой местности. Для одного региона может быть создано несколько проектов, но в одном проекте нельзя объединить несколько регионов, определяемых разными цифровыми картами.

Проект сохраняется на диске в текстовом файле с расширением «.pro». В состав проекта входят следующие компоненты:

- имя каталога с цифровой картой региона;
- имя каталога с базами данных оборудования;
- имя рабочего каталога, в котором сохраняются результаты расчетов;
- общие параметры, относящиеся ко всему региону;
- описание сетей, размещенных в данном регионе;
- перечень базовых станций и их параметров для каждой сети;
- перечень радиолиний для радиорелейных сетей;
- информация о выполненных расчетах;
- перечень дополнительных препятствий, корректирующих цифровую карту, и их параметры;
- характеристики типов местности, учитываемые в расчетах;
- атрибуты объектов, отображаемых на экране

Развитие проекта предусматривает размещение новых объектов (сетей, станций, радиолиний и т.д.), изменение параметров и удаление ранее созданных объектов.

Результаты расчетов, требующих больших затрат времени, сохраняются на диске, информация о них хранится в проекте и ис-

пользуется для отображения результатов без проведения повторных расчетов.

Базы данных оборудования могут расширяться и редактироваться независимо от проекта и использоваться в нескольких проектах одновременно. Следует учитывать, что изменение параметров оборудования в базе данных скажется на результатах расчетов во всех проектах, ссылающихся на эту базу данных.

2.3 Интерфейс RPS

Интерфейс RPS разработан в соответствии со стандартами, принятыми в операционных системах Microsoft Windows 95/NT. Операции с интерфейсными объектами (окнами, меню, панелями инструментов, окнами диалога) выполняются так, как это принято в MS Windows.

2.3.1 Главное окно

В RPS главное окно используется для отображения карты местности и размещения объектов (станций, радиолиний, маршрутов, препятствий и т.п.).


Главное окно можно перемещать для отображения различных участков цифровой карты региона.

В главном окне выполняются операции масштабирования карты.

При перемещении указателя мыши в строке состояния в нижней части главного окна отображаются географические координаты текущей точки и высота точки над уровнем моря.

2.3.2 Вспомогательные окна

Вспомогательные (дочерние) окна используются для вывода результатов расчетов. Дочерние окна могут быть перемещены в любое место в пределах главного окна и могут быть “свернуты” в пиктограмму.

Содержимое вспомогательного окна, имеющего в верхнем левом углу значок , может быть выведено на печать. Содержимое текстовых окон может быть сохранено в файле.

2.3.3 Мышь






С помощью мыши в RPS выполняются следующие действия:

- выбор команд из главного меню;
- выбор места при создании новых объектов;
- доступ к объектам, отображенным на экране, для редактирования их параметров;
- выбор точек для построения профиля местности;
- задание прямоугольных областей для расчетов и печати.

Левая кнопка мыши используется для выбора команд из меню и доступа к объектам.

Правая кнопка мыши используется вывода на экран контекстных всплывающих меню, содержащих набор команд, зависящий от режима работы и типа объекта, над которым нажата правая кнопка мыши.

В зависимости от режима работы курсор мыши может принимать одну из следующих форм:

-  -- обычный вид курсора в режиме выбора/создания объектов;
-  -- курсор находится над объектом в режиме выбора объектов;
-  -- вид курсора в режиме масштабирования карты;
-  -- курсор находится над объектом в режиме перемещения объектов;
-  -- вид курсора в режиме выбора линий и прямоугольных областей.

2.3.4 Главное меню

В RPS используется иерархическая система меню. Для выбора действия или перехода к следующему уровню меню следует поме-

ставить указатель мыши над соответствующим пунктом меню и нажать левую кнопку мыши. Для возврата на предыдущий уровень меню следует нажать на клавишу “Esc”. Ниже приводится перечень пунктов главного меню.

Проект - Операции с проектом (открыть, создать новый проект, сохранить, закрыть, настроить общие параметры проекта, настроить параметры печати, завершить работу RPS);

Сеть - Создание новой сети в текущем проекте, переключение между сетями, редактирование общих параметров сети;

Вид - Выбор вида отображения карты местности, выбор масштаба карты, включение (выключение) отображения результатов расчетов;

Редактировать - Редактирование параметров объектов текущей сети;

Выполнить - Выполнение расчетов;

Оборудование - Доступ к базам данных оборудования;

Утилиты - Настройка общих параметров отображения объектов;

Окна - Стандартное меню Windows для управления дочерними окнами;

Помощь - Вызов справочной подсистемы RPS.

2.3.5 Панель инструментов

Линейка инструментов располагается под главным меню и содержит пиктограммы для переключения режимов работы и выполнения часто используемых команд. Ниже приводится список пиктограмм и соответствующие им команды меню:



-- Создать новый проект (меню **Проект /Новый**);



-- Открыть существующий проект (меню **Проект /Открыть**);














-- Сохранить проект (меню **Проект /Сохранить**);



-- Установить режим создания/редактирования параметров объектов (меню **Просмотр/Режим редактирования**);



-- Установить режим перемещения объектов (меню **Просмотр / Режим перемещения**);

-  -- Установить режим масштабирования карты (меню **Просмотр / Режим масштабирования**);
-  -- Установить режим выбора прямоугольной области (меню **Просмотр / Выбор прямоугольника**);
-  -- Установить режим выбора линии для построения профиля (меню **Просмотр / Выбор линии**);
-  -- Установить режим выбора маршрута (меню **Просмотр / Выбор трассы**);
-  -- Вывод полной карты региона (меню **Просмотр / Навигатор**);
-  -- Сдвиг главного окна влево (меню **Просмотр / Переместить окно/Влево**);
-  -- Сдвиг главного окна вправо (меню **Просмотр / Переместить окно /Вправо**);
-  -- Сдвиг главного окна вверх (меню **Просмотр / Переместить окно /Вверх**);
-  -- Сдвиг главного окна вниз (меню **Просмотр / Переместить окно /Вниз**);
-  -- Настройка параметров карты (меню **Утилиты/Параметры карты**);
-  -- Настройка параметров объектов (меню **Утилиты/Параметры объектов**);

2.4 Использование цифровых карт

С каждым проектом RPS должна быть связана цифровая карта местности, в которой проводится планирование. В ходе работы карта местности используется для размещения объектов (станций, радиолиний) и отображения результатов расчета.

Цифровая карта включает в себя следующие компоненты:

- Набор растровых листов карты, содержащих для каждой точки информацию о высоте над уровнем моря и типе местности;
- Набор векторных файлов, описывающих линейные объекты: реки, дороги, линии электропередачи и т.п.;
- Набор файлов с надписями, размещаемыми на карте: названия населенных пунктов, рек, объектов и т.п.

– Описание карты: размер листа, масштаб, координаты листов карты, тип проекции, в которой получена карта.

Размеры рабочей области определяются набором листов цифровой карты. Удаление листов карты из цифровой карты не допускается.

2.5 Базы данных RPS

В RPS поддерживаются следующие три базы данных оборудования:

– База данных антенн с диаграммами направленности (файл **antenna.sdb**).

– База данных приемопередатчиков (файл **trxdata.sdb**).

– База данных волноводов (файл **wgdata.sdb**).

Параметры оборудования, содержащиеся в базе данных, используются для инициализации параметров станции. При создании новой станции указывается тип антенны, приемопередатчиков и волновода. RPS выбирает параметры указанных устройств из базы данных и копирует их набор параметров станции. Базы данных должны размещаться в одном каталоге, путь к которому указывается при создании проекта.

Одни и те же базы данных оборудования могут использоваться в разных проектах.

Цель работы:

1. Приобретение навыков работы с цифровой картой местности при построении зоновых радиорелейных линий; выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи на основе реальных данных о рельефе местности.

2. Размещение одноствольной радиорелейной системы передачи на цифровой карте местности; выполнение расчетов, необходимых для расчета надежности и оценки электромагнитной совместимости (ЭМС);

Предварительные настройки:

1. Построить радиорелейную сеть, для этого необходимо:

а) Выбрать пункт меню «Сеть/Новая/Тип новой сети» (где тип новой сети – «Релейная»).

б) В появившемся диалоговом окне указать параметры радиорелейной сети:

- Нижняя частота передачи – 15 ГГц;
- Верхняя частота передачи – 17,8 ГГц;
- Дуплексный разнос – 2,8 ГГц;
- Полоса канала – 280 МГц.

Параметры релейной сети

Сеть	Net002
Нижняя частота передачи	15000.0000 МГц
Верхняя частота передачи	17800.0000 МГц
Дуплексный разнос	-2800.0000 МГц
Полоса канала	280000.0000 КГц
Треб. сигнал/помеха	20.0 дБ
Внешняя помеха	-999.0 дБ

Радио стандарт

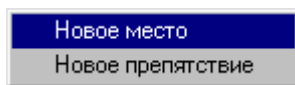
Число частотных каналов: 10

Помощь

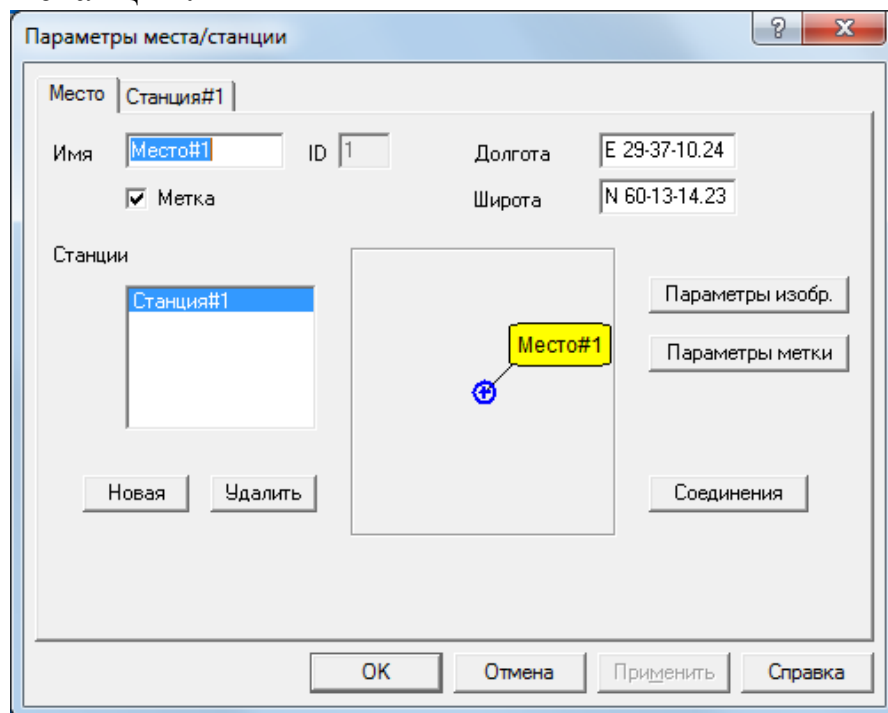
Отмена

ОК

в) Находясь в режиме редактирования подвести курсор к месту размещения приемопередатчиков на карте и нажать левую кнопку мыши. В появившемся меню



г) выбрать пункт «Новое место» и в диалоговом окне ввести координаты мест размещения окончательных и промежуточных радиорелейных станций:



- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| – Место #1: долгота E 29-37-10.24, | широта N60-13-14.23 |
| – Место #2: долгота E 29-39-43.34, | широта N 60-1-28.80 |
| – Место #3: долгота E 29-24-24.77, | широта N 59-58-11.65 |
| – Место #4: долгота E 29-38-3.49, | широта N 59-55-31.47 |
| – Место #5: долгота E 30-1-34.62, | широта N 59-50-1.86 |



Лабораторное задание

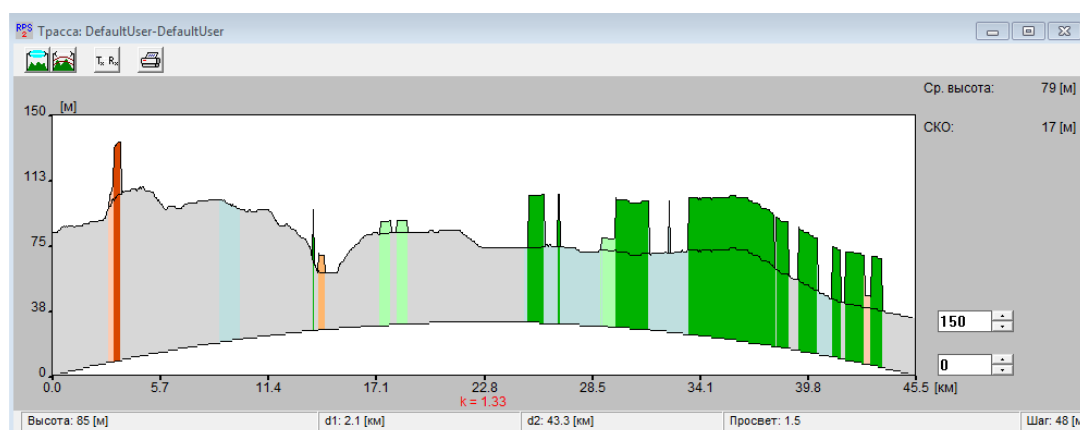
1. Построить радиорелейную систему передачи на основе двухчастотного плана.

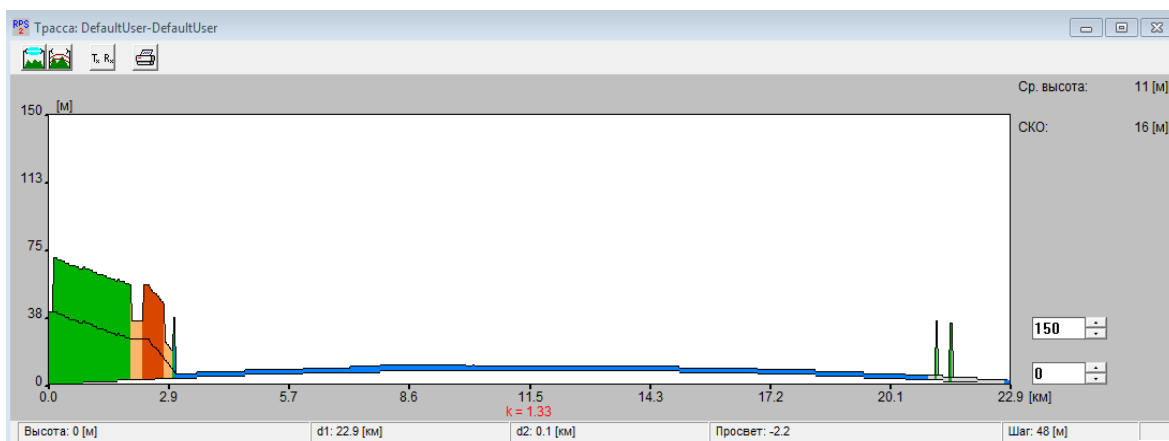
При построении радиорелейной системы передачи разместить на местности заданное число радиорелейных станций с минимально возможной высотой подвеса антенн.

2. Частотные параметры станций установить в соответствии с заданными параметрами сети, с соблюдением канального и дуплексного интервалов. Задать параметры станций: имя - станция#XXX, антенна - AntRRL, высота антенны (по умолчанию) поляризация - вертикальная, приемопередатчик - default, фидеры - CABLE.

Длину фидерных линий установить в соответствии с высотой антенны

3. Оценить профиль рельефа местности для выбранных мест установки промежуточных станций. Для оценки необходимо в режиме выбора линии  подвести курсор мыши  к выбранному месту расположения станции и удерживая левую кнопку в нажатом положении соединить станции на одном пролете, получив в результате этого изображение следующего вида.

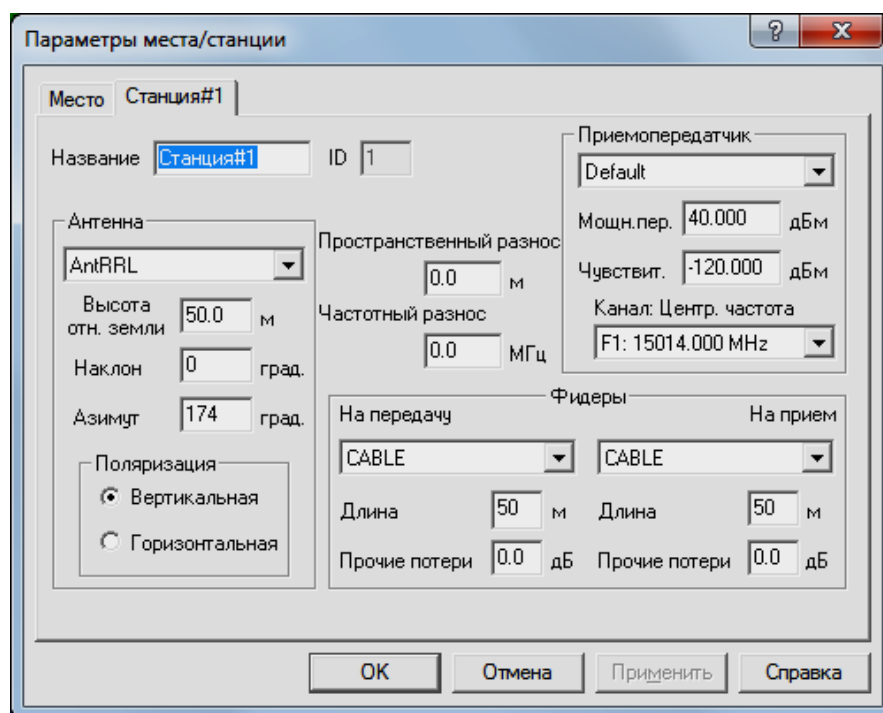




После оценки длины пролета и профиля рельефа местности, *при необходимости*, провести корректировку параметров станций в местах расположения (изменить высоту подвеса антенн для обеспечения режима прямой видимости).

ПРИМЕЧАНИЕ: При наличии значительных потерь на трассе поэтапно изменить высоту антенн с шагом 5 м.

4. В релейной сети, в окне ввода параметров, нажимая кнопку «Новая» добавить *требуемое* количество приемопередатчиков, размещаемых в каждом месте и, выбрав соответствующую вкладку, назначить состав оборудования каждого из них.

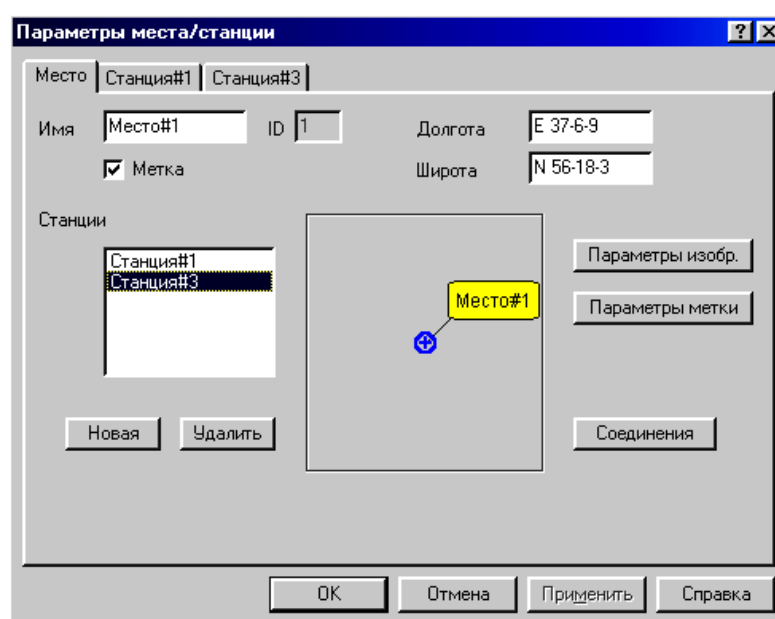


При назначении параметров приемопередатчиков обеспечить частотный разнос на каждом пролете и пространственную ориентацию антенн.

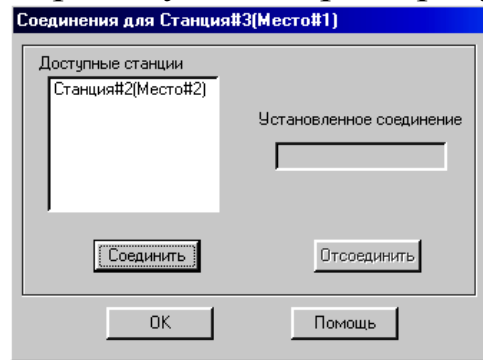
5. Создать радиолинии, осуществив соединение станций.

Для этого необходимо:

- а) Войти в режим редактирования места размещения приемопередатчиков и в перечне имеющихся в этом месте приемопередатчиков указать на тот, который объединяется в радиолинию.



- Нажать кнопку «Соединение».
- В появившемся окне из числа доступных станций выбрать ту, с которой требуется выполнить соедине-



ние.

- Нажать кнопки «Соединить» и «ОК».
- Закрывать окно редактирования параметров места (нажать кнопку «ОК»).

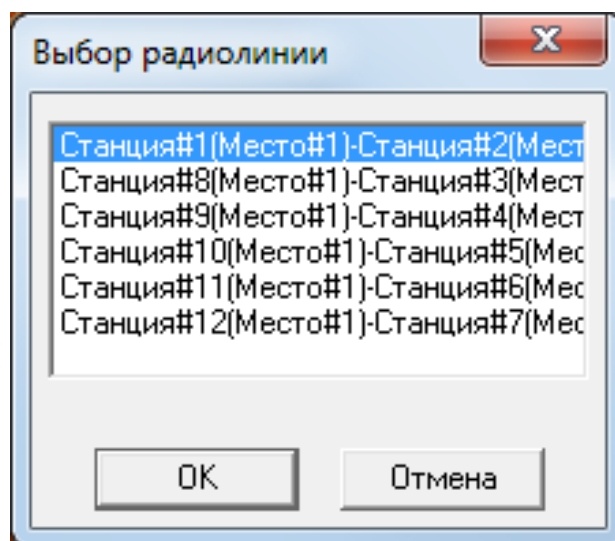
6. Для релейной сети выполнить следующие виды расчетов:

6.1 Анализ профиля радиолинии.

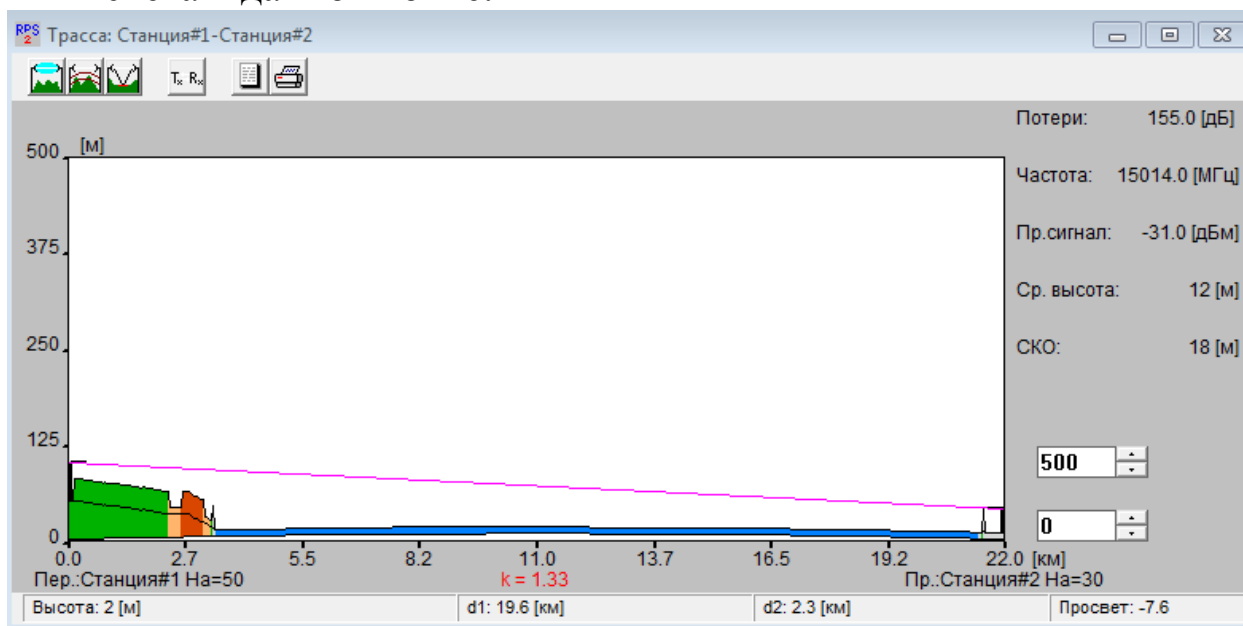
Для анализа профиля радиолинии необходимо:


- а) Выбрать пункт меню «Выполнить» и в появившемся меню выбрать пункт «Профиль радиолинии».

В появившемся диалоговом окне поочередно выбрать радиолинию для оценки её профиля и нажать «ОК».





б) В окне трассы будет изображен профиль анализируемой радиолинии с указанием в правой части окна уровня принимаемого сигнала и характеристик профиля. Высоты расположения антенн передатчика (он располагается в левой точке профиля) и приемника (в правой точке профиля) указаны непосредственно под ними. При передвижении курсора вдоль профиля в нижней части окна показываются расстояния от текущей точки профиля до обеих антенн, а также значение просвета в данной точке.



Нажатием на кнопку  получить и зафиксировать информацию о том, какой фактор (дифракция, отражение и т.д.) какой вклад внес в потери распространения сигнала.

Оценку потерь провести для прямой и обратной радиотрасс.

в) После нажатия на кнопки   в окне с профилем радиолинии дополнительно получить и зафиксировать информацию, соответственно, о первой зоне Френеля и точках отражения сигнала (если они есть).

6.2 Расчет дальних помех от передатчиков, работающих в анализируемом регионе.

Для проведения расчета необходимо:

6.2.1 Для заданных исходных параметров станций:

а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Дальние помехи».

- б) Поочередно указать радиолинию, для приемников которой рассчитываются помехи от удаленных передатчиков.
- в) Нажать кнопку «ОК».

6.2.2 Изменить параметры станций, установленных согласно п.п. 4, на параметры в соответствии с таблицей 1:

Таблица 1 – Исходные данные для расчета дальних помех

Номер варианта	Антенна
1	OMNI
2	Ant001
3	Ant002
4	Default

Для измененных параметров согласно п.п. 6.2.1 провести расчет помех от передатчиков, работающих в анализируемом регионе.

Провести сравнительный анализ полученных результатов и предложить меры по уменьшению уровня помех от удаленных передатчиков.

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.
2. Цель работы и задание на лабораторную работу.
3. Цифровая карта местности с размещенными на ней РРЛ, профилями радиолиний.
4. Результаты расчетов, полученные в ПП. 1-6 задания на лабораторную работу, с краткими выводами по каждому пункту.
5. Выводы по полученным данным расчетов.

Контрольные вопросы

1. В каком диапазоне частот предусмотрена работа РРЛ прямой видимости, каковы особенности этих диапазонов.
2. Почему радиосигналы СВЧ передаются лишь в пределах прямой видимости.
3. Что такое активная ретрансляция сигналов.
4. Назовите типы станций на РРЛ, основные функции этих станций
5. Что такое радиорелейный пролет, радиорелейный участок.
6. От чего зависит протяженность трассы между соседними станциями (дайте всесторонний, развернутый ответ).

Лабораторная работа № 6 «Планирование цифровой радиорелейной системы связи для организа- ции городской сети»

Цель работы:

1. Приобретение навыков работы с цифровой картой местности при построении радиорелейной системы передачи; выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи на основе реальных данных о рельефе местности.

2. Размещение радиорелейной системы передачи на цифровой карте местности; выполнение расчетов, необходимых для расчета надежности и оценки электромагнитной совместимости (ЭМС);

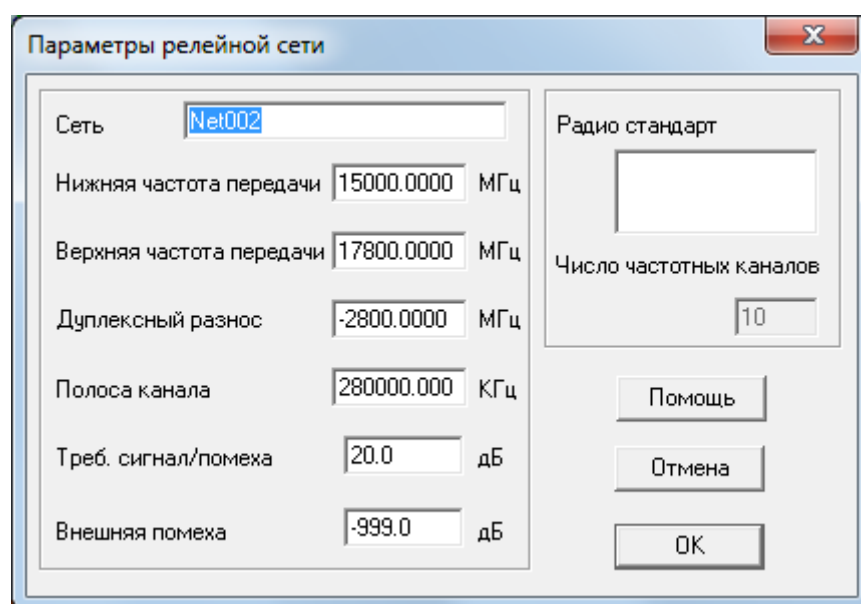
Предварительные настройки:

2. Построить радиорелейную сеть, для этого необходимо:

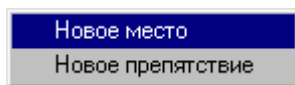
д) Выбрать пункт меню «Сеть/Новая/Тип новой сети» (где тип новой сети – «Релейная»).

е) В появившемся диалоговом окне указать параметры радиорелейной сети:

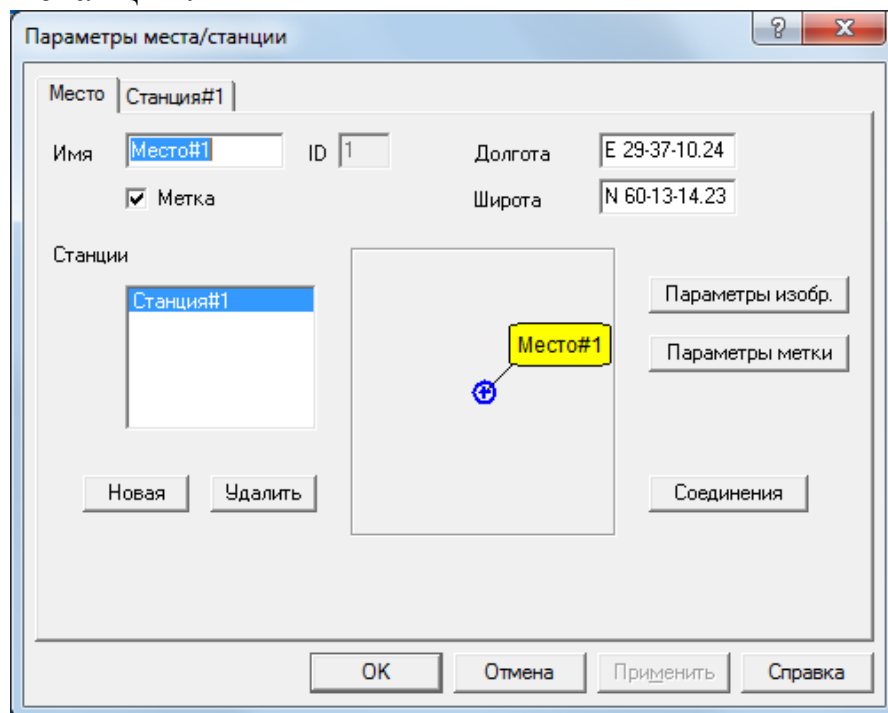
- Нижняя частота передачи – 15 ГГц;
- Верхняя частота передачи – 17,8 ГГц;
- Дуплексный разнос – 2,8 ГГц;
- Полоса канала – 280 МГц.



ж) Находясь в режиме редактирования подвести курсор к месту размещения приемопередатчиков на карте и нажать левую кнопку мыши. В появившемся меню



з) выбрать пункт «Новое место» и в диалоговом окне ввести координаты мест размещения окончных и промежуточных радиорелейных станций:



- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| – Место #1: долгота E 30-12-20.28, | широта N 60-9-46.30 |
| – Место #2: долгота E 30-31-15.18, | широта N 60-8-50.85 |
| – Место #3: долгота E 30-42-7.50, | широта N 60-3-36.64 |
| – Место #4: долгота E 30-35-34.77, | широта N 60-2-53.52 |
| – Место #5: долгота E 30-39-4.45, | широта N 59-57-51.63 |
| – Место #6: долгота E 30-31-45.13, | широта N 59-57-11.58 |

Лабораторное задание



7. Построить одноствольную радиорелейную систему передачи на основе двухчастотного плана.

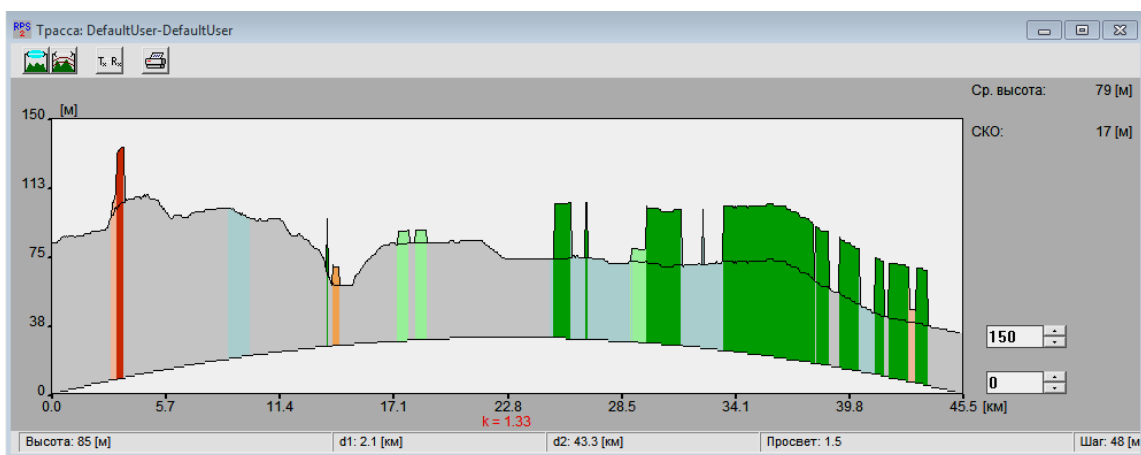
При построении радиорелейной системы передачи разместить на местности заданное число радиорелейных станций с минимально возможной высотой подвеса антенн.

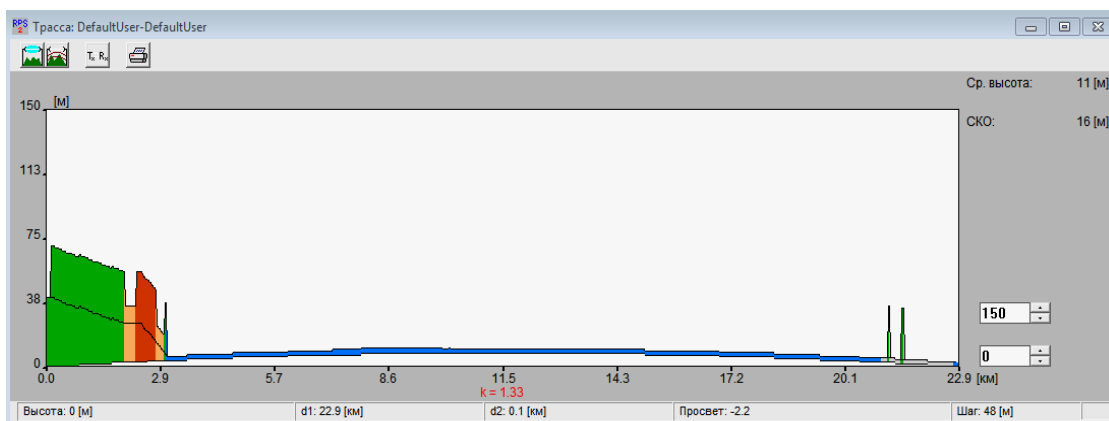
В месте #3 разместить узловую радиорелейную станцию с выделением *каналов* к месту #4.

8. Частотные параметры станций установить в соответствии с заданными параметрами сети, с соблюдением канального и дуплексного интервалов. Задать параметры станций: имя - станция#XXX, антенна - AntRRL, высота антенны (по умолчанию) поляризация - вертикальная, приемопередатчик - default, фидеры - CABLE.

Длину фидерных линий установить в соответствии с высотой антенны

9. Оценить профиль рельефа местности для выбранных мест установки промежуточных станций. Для оценки необходимо в режиме выбора линии  подвести курсор мыши  к выбранному месту расположения станции и удерживая левую кнопку в нажатом положении соединить станции на одном пролете, получив в результате этого изображение следующего вида.





После оценки длины пролета и профиля рельефа местности, **при необходимости**, провести корректировку параметров станций в местах расположения (изменить высоту подвеса антенн для обеспечения режима прямой видимости).

ПРИМЕЧАНИЕ: При наличии значительных потерь на трассе поэтапно изменить высоту антенн с шагом 5 м.

10. В релейной сети, в окне ввода параметров, нажимая кнопку «Новая» добавить **требуемое** количество приемопередатчиков, размещаемых в каждом месте и, выбрав соответствующую вкладку, назначить состав оборудования каждого из них.

При назначении параметров приемопередатчиков обеспечить частотный разнос на каждом пролете и пространственную ориентацию антенн.

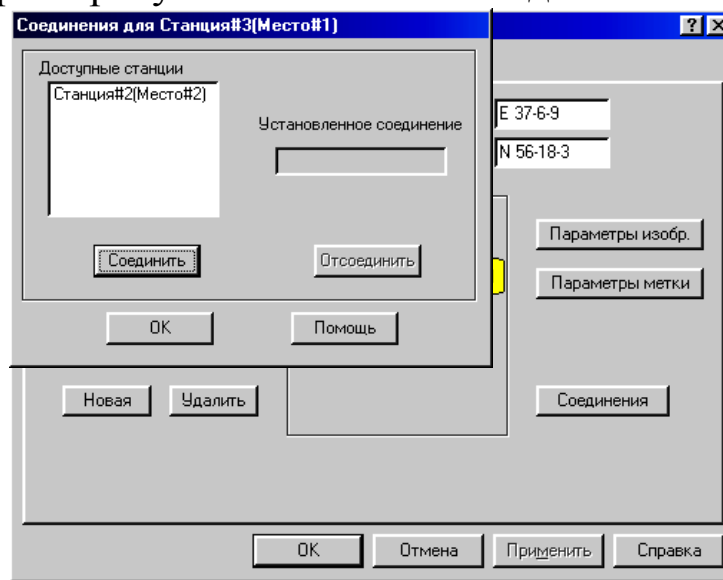
11. Создать радиолинии, осуществив соединение станций.

Для этого необходимо:

б) Войти в режим редактирования места размещения приемопередатчиков и в перечне имеющихся в этом месте приемопередатчиков указать на тот, который объединяется в радиолинию.

– Нажать кнопку «Соединение».

– В появившемся окне из числа доступных станций выбрать ту, с которой требуется выполнить соединение.



– Нажать кнопки «Соединить» и «ОК».

– Закрывать окно редактирования параметров места (нажать кнопку «ОК»).

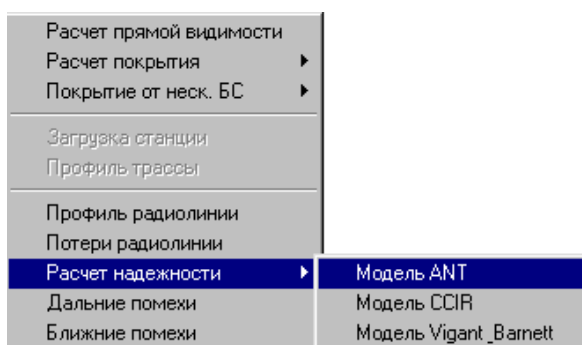
12. Для релейной сети выполнить следующие виды расчетов:

12.1 Расчет показателей надежности работы радиолиний.

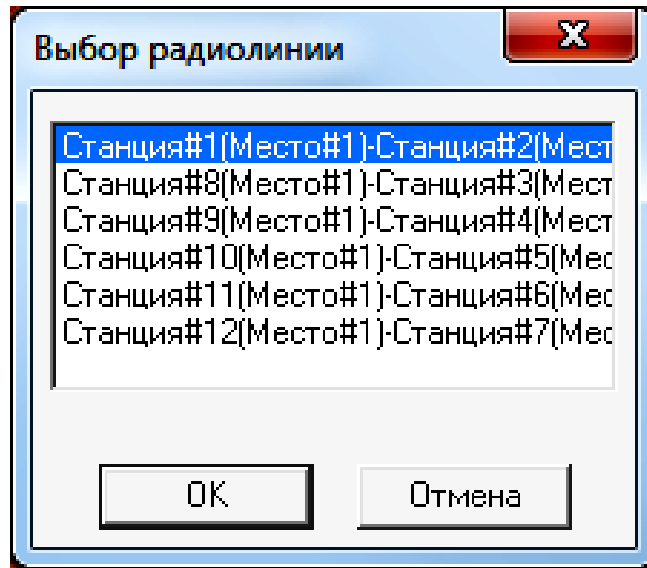
Для расчета надежности радиолинии необходимо:

а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Расчет надежности».

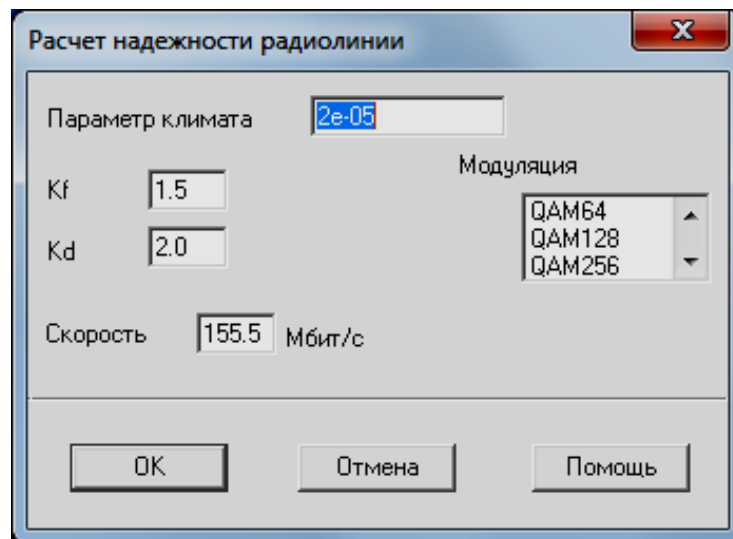
б) Выбрать модель ANT, по которой рассчитать показатели надежности работы радиолинии.



в) Выбрать поочередно радиолинии, для которых следует рассчитать показатели надежности их работы.



и в появившемся окне «Расчет надежности радиолинии»



задать исходные данные для расчета в соответствии с таблицей 1, зафиксировать полученные результаты.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета надежности

Номер варианта	Модуляция	Скорость Мбит/с
1	QAM64	155
2	QAM128	155
3	QAM 256	155
4	QPSK	155

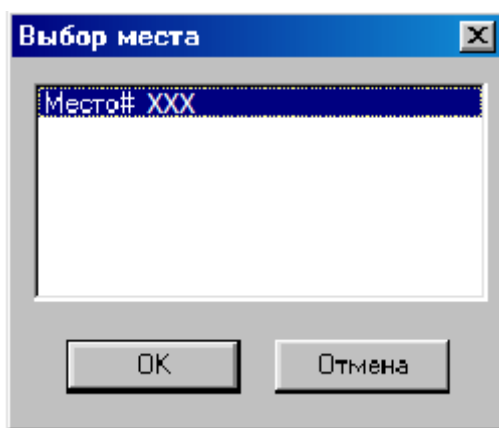
12.2 Расчет помех от передатчиков, работающих в анализируемом регионе.

12.2.1 Расчет ближних помех.

Провести расчет частот, на которых возможно появление интермодуляционных помех, вызванных взаимодействием друг на друга передатчиков, расположенных поблизости друг от друга вследствие нелинейности их характеристик.

Для проведения расчета необходимо:

- а) Выбрать пункт меню «Выполнить/Ближние помехи».
- б) Указать Место № XXX (место размещения узловой станции), для которого рассчитываются возможные помехи от близко расположенных передатчиков.



- в) Нажать кнопку «ОК».

Проанализировать полученные результаты и предложить меры по уменьшению уровня интермодуляционных помех.

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.
2. Цель работы и задание на лабораторную работу.
3. Цифровая карта местности с размещенными на ней РРЛ, профилями радиолиний.
4. Результаты расчетов, полученные в ПП. 1-6 задания на лабораторную работу, с краткими выводами по каждому пункту.
5. Выводы по полученным данным расчетов.

Контрольные вопросы

1. Как рефракция может повлиять на тип пролета.
2. Как вы понимаете значение термина "замирание радиосигнала".
3. Вследствие каких факторов возникают замирания сигналов на трассе распространения.
4. Поясните принципы построения плана распределения частот РРЛ.
5. Какие существуют способы уменьшения влияния передатчика на работу приемника той же самой РРЛ станции.
6. За счет какого фактора возникает интерференция сигналов на РРЛ пролете.
7. За счет чего можно увеличить дальность связи на РРЛ пролете без увеличения мощности излучения.

Лабораторная работа № 7
«Организация многоствольной работы на магистральных линиях радиорелейной системы передачи»

Цель работы:

1. Приобретение навыков работы с цифровой картой местности при организации многоствольной работы на магистральных линиях радиорелейной системы передачи; выполнение расчетов, необходимых для оценки качества связи на основе реальных данных о рельефе местности.

2. Размещение радиорелейной системы передачи на цифровой карте местности; выполнение расчетов, необходимых для оценки электромагнитной совместимости (ЭМС);

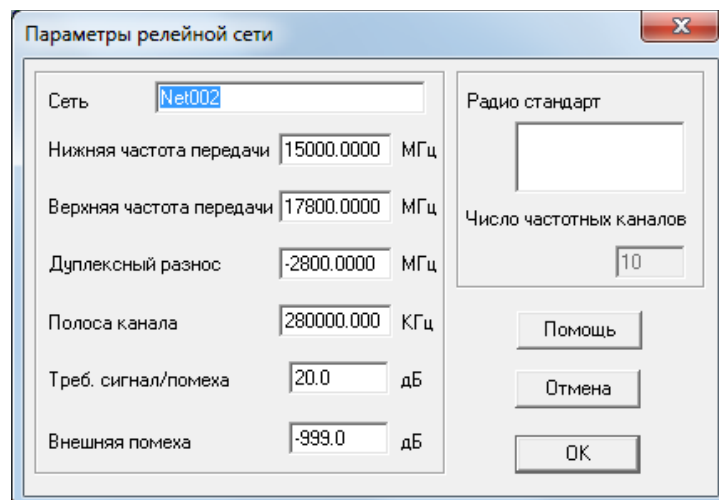
Предварительные настройки:

3. Построить радиорелейную сеть, для этого необходимо:

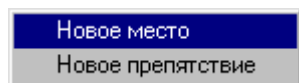
и) Выбрать пункт меню «Сеть/Новая/Тип новой сети» (где тип новой сети – «Релейная»).

к) В появившемся диалоговом окне указать параметры радиорелейной сети:

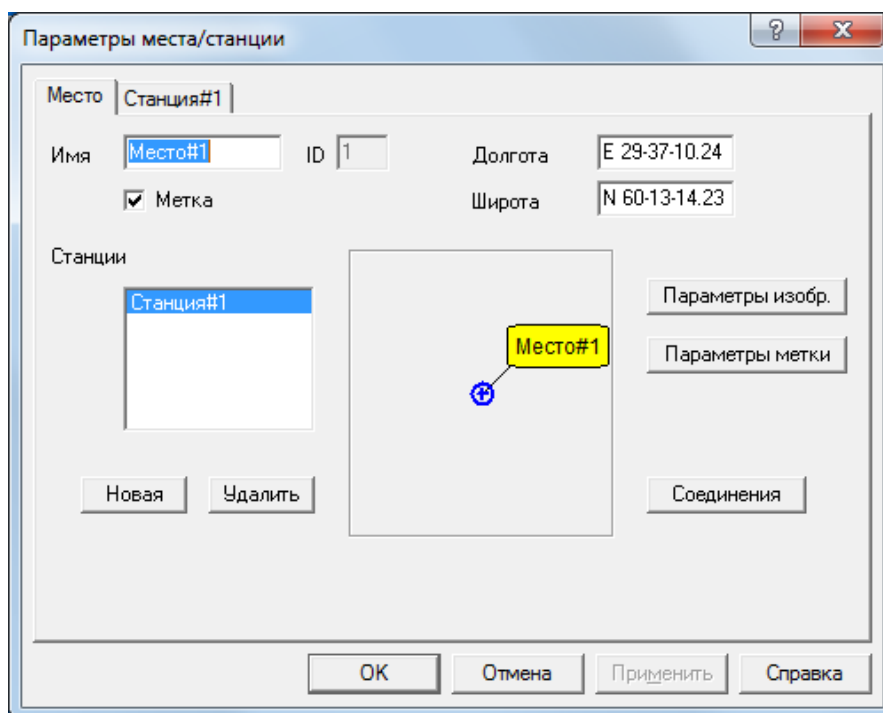
- Нижняя частота передачи – 15 ГГц;
- Верхняя частота передачи – 17,8 ГГц;
- Дуплексный разнос – 2,8 ГГц;
- Полоса канала – 280 МГц.



л) Находясь в режиме редактирования подвести курсор к месту размещения приемопередатчиков на карте и нажать левую кнопку мыши. В появившемся меню



м) выбрать пункт «Новое место» и в диалоговом окне ввести координаты мест размещения конечных радиорелейных станций:



- Место #1: долгота E 29-37-10.24, широта N60-13-14.23
- Место #2: долгота E 30-51-56.58, широта N59-33-48.43
- Место #3: долгота E 29-1 - 46.89, широта N59-55-6.82



Лабораторное задание

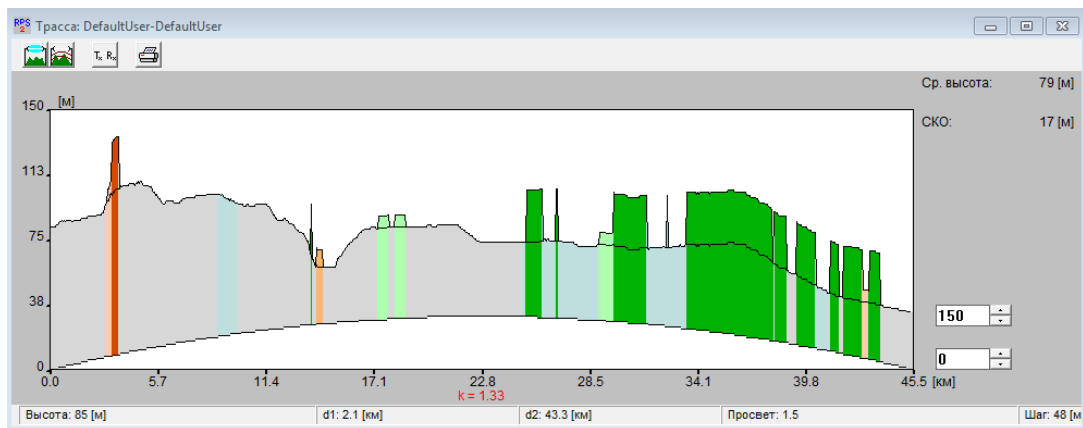
13. Построить 2-х ствольную радиорелейную систему передачи между конечными станциями, расположенными в местах №1 и №2, предусмотрев выделение каналов для передачи на конечную станцию, расположенную в месте №3.

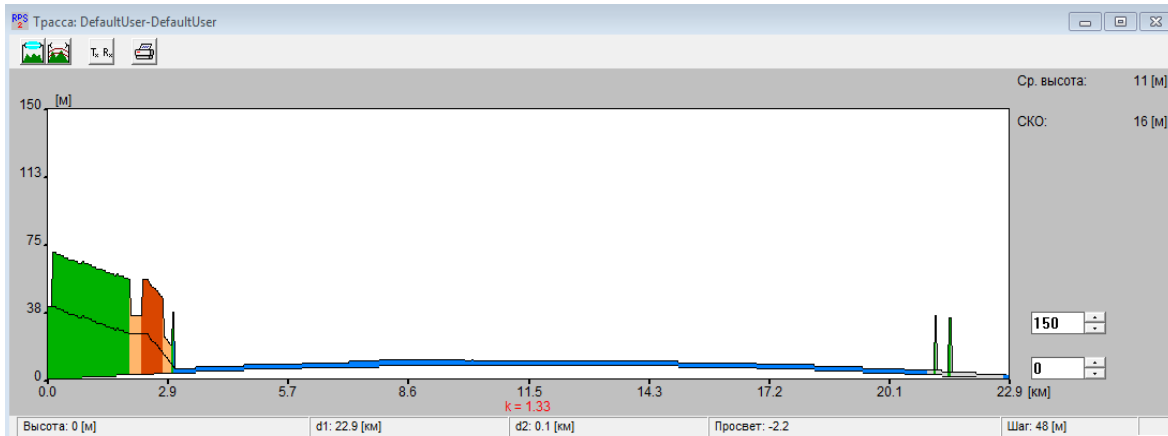
При построении радиорелейной системы передачи разместить на местности **минимально возможное** число промежуточных и узловых радиорелейных станций с **минимально возможной** высотой подвеса антенн.

14. Частотные параметры станций установить в соответствии с заданными параметрами сети, с соблюдением канального и дуплексного интервалов. Задать параметры станций: имя - станция#XXX, антенна - AntRRL, высота антенны (по умолчанию) поляризация - вертикальная, приемопередатчик - default, фидеры - default.

15. Самостоятельно определить **предварительные** места расположения **необходимого числа** промежуточных и узловых радиорелейных станций, для чего проделать операции аналогично п.п 1в, 1г.

16. Оценить длину радиорелейного пролета и профиль рельефа местности для выбранных мест установки промежуточных и узловых станций. Для оценки необходимо в режим выбора линии  подвести курсор мыши  к выбранному месту расположения станции и удерживая левую кнопку в нажатом положении соединить станции на одном пролете, получив в результате этого изображение следующего вида.





После оценки длины пролета и профиля рельефа местности, **при необходимости**, провести корректировку мест расположения промежуточных и узловых станций.

17. В релейной сети, в окне ввода параметров, нажимая кнопку «Новая» добавить **требуемое** количество приемопередатчиков, размещаемых в каждом месте и, выбрав соответствующую вкладку, назначить состав оборудования каждого из них.

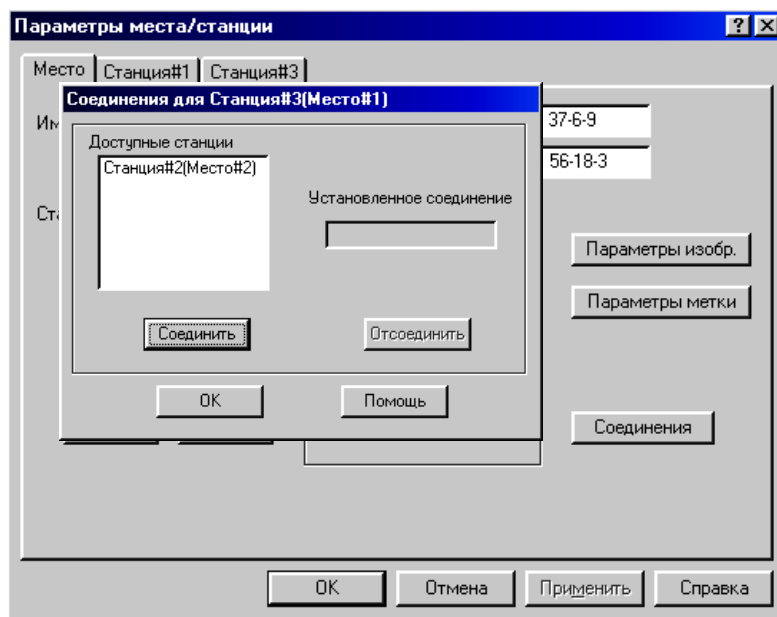
При назначении параметров приемопередатчиков обеспечить частотный разнос на каждом пролете и пространственную ориентацию антенн.

18. Создать радиолинии, осуществив соединение станций.

Для этого необходимо:

в) Войти в режим редактирования места размещения приемопередатчиков и в перечне имеющихся в этом месте приемопередатчиков указать на тот, который объединяется в радиолинию.

– Нажать кнопку «Соединение».



– В появившемся окне из числа доступных станций выбрать ту, с которой требуется выполнить соединение.

– Нажать кнопки «Соединить» и «ОК».

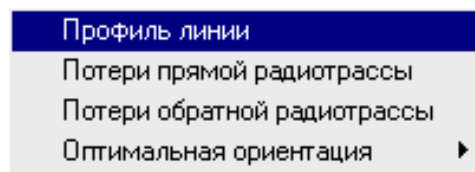
– Закрывать окно редактирования параметров места (нажать кнопку «ОК»).

19. Для релейной сети выполнить следующие виды расчетов:

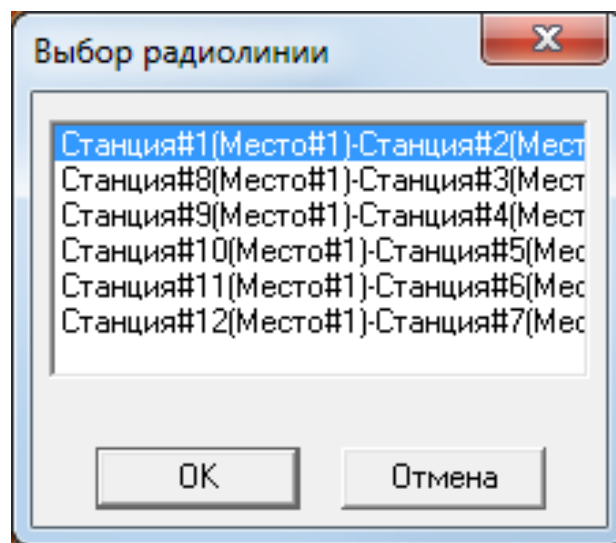
19.1 Анализ профиля радиолинии.

Для анализа профиля радиолинии необходимо:

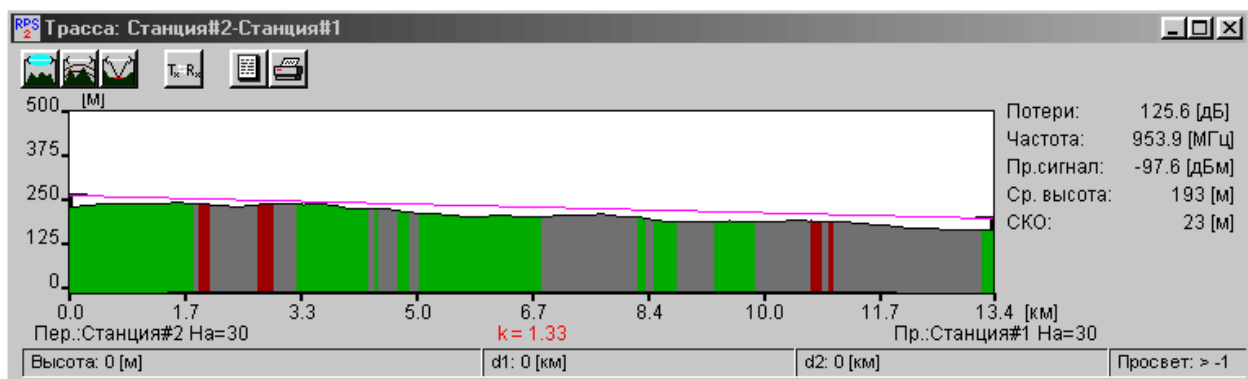
г) Выбрать пункт меню «Выполнить» и в появившемся меню выбрать пункт «Профиль радиолинии», или, подведя курсор к линии соединения станций, нажать правую кнопку мыши и в диалоговом окне выбрать пункт «Профиль радиолинии».






В появившемся диалоговом окне поочередно выбрать радиолинию для оценки её профиля и нажать «ОК».



д) В окне трассы будет изображен профиль анализируемой радиолинии с указанием в правой части окна уровня принимаемого сигнала и характеристик профиля. Высоты расположения антенн передатчика (он располагается в левой точке профиля) и приемника (в правой точке профиля) указаны непосредственно под ними. При передвижении курсора вдоль профиля в нижней части окна показываются расстояния от текущей точки профиля до обеих антенн, а также значение просвета в данной точке.



Нажатием на кнопку  получить и зафиксировать информацию о том, какой фактор (дифракция, отражение и т.д.) какой вклад внес в потери распространения сигнала.

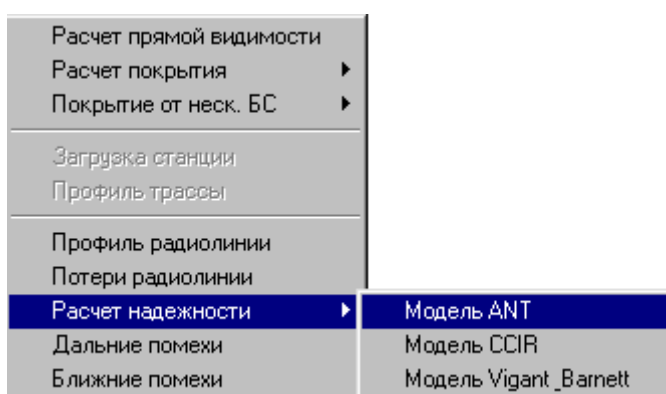
е) После нажатия на кнопку  и  в окне с профилем радиолинии дополнительно получить и зафиксировать информацию, соответственно, о первой зоне Френеля и точках отражения сигнала (если они есть).

ПРИМЕЧАНИЕ: При наличии значительных потерь на трассе поэтапно изменить высоту антенн с шагом 5 м (но не более 45 м).

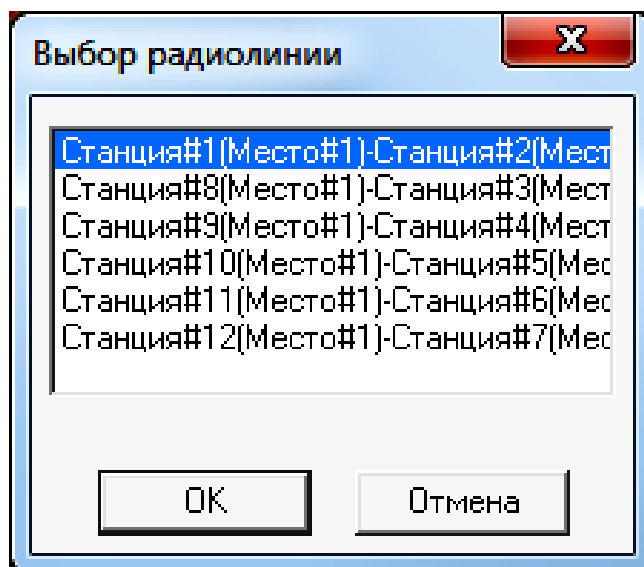
19.2 Расчет показателей надежности работы радиолиний.

Для расчета надежности радиолинии необходимо:

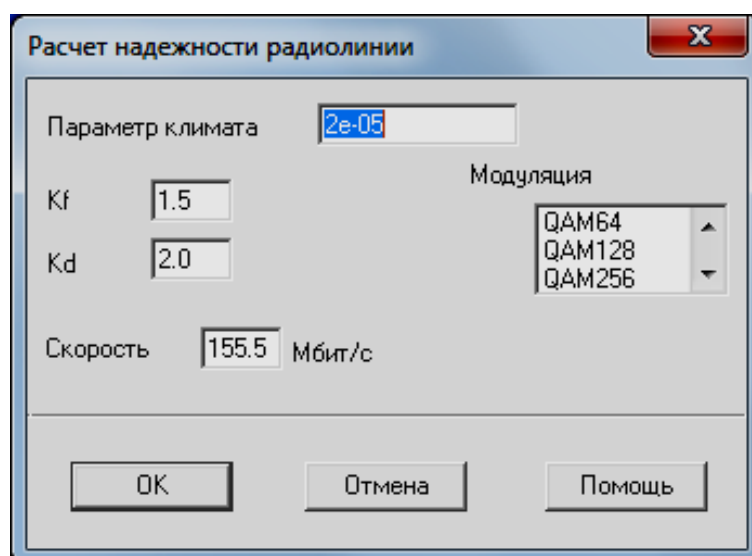
- г) Выбрать пункт меню «Выполнить/Расчет надежности».
- д) Выбрать модель АНТ, по которой рассчитать показатели надежности работы радиолинии.



е) Выбрать поочередно радиолинии, для которых следует рассчитать показатели надежности их работы.



и в появившемся окне «Расчет надежности радиолинии»



здать исходные данные для расчета в соответствии с таблицей 1, зафиксировать полученные результаты.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета надежности

Номер варианта	Модуляция	Скорость Мбит/с
1	QAM64	155
2	QAM128	155
3	QAM 256	155
4	QPSK	155

19.3 Расчет помех от передатчиков, работающих в анализируемом регионе.

19.3.1 Расчет дальних помех.

Для проведения расчета необходимо:

- г) Выбрать пункт меню «Выполнить/Дальние помехи».
- д) Поочередно указать радиолинию, для приемников которой рассчитываются помехи от удаленных передатчиков.
- е) Нажать кнопку «ОК».

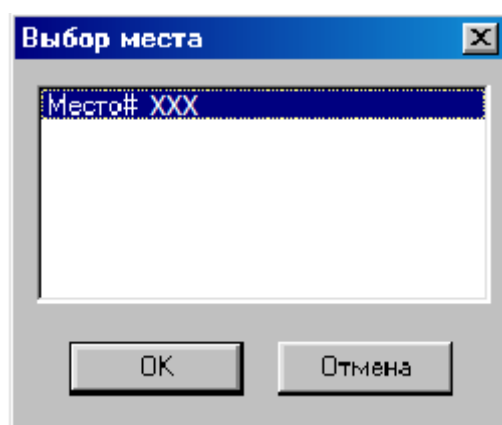
Проанализировать полученные результаты и предложить меры по уменьшению уровня помех от удаленных передатчиков.

19.3.2 Расчет ближних помех.

Провести расчет частот, на которых возможно появление интермодуляционных помех, вызванных взаимодействием друг на друга передатчиков, расположенных поблизости друг от друга вследствие нелинейности их характеристик.

Для проведения расчета необходимо:

- г) Выбрать пункт меню «Выполнить/Ближние помехи».
- д) Указать Место № XXX (место размещения узловой станции), для которого рассчитываются возможные помехи от близко расположенных передатчиков.



- е) Нажать кнопку «ОК».

Проанализировать полученные результаты и предложить меры по уменьшению уровня интермодуляционных помех.

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилиями студентов и группы.
2. Цель работы и задание на лабораторную работу.
3. Цифровая карта местности с размещенными на ней РРЛ, профилями радиолиний.
4. Результаты расчетов, полученные в ПП. 1-7 задания на лабораторную работу, с краткими выводами по каждому пункту.
5. Выводы по полученным данным расчетов.

Контрольные вопросы

1. Что такое радиорелейный ствол.
2. Какие способы организации цифровых стволов Вы знаете?
3. Какой ствол называют цифровым, аналого-цифровым?
4. Поясните, в чём отличие схемы УРС(ОРС) от схемы ПРС?
5. Перечислите основные параметры, по которым классифицируются современные ЦРРС.
6. Назовите состав оборудования радиорелейных систем различного назначения.
7. Какой план распределения частот используется на магистральных радиолиниях и почему?
8. За счет какого фактора возникает интерференция сигналов на РРЛ пролете?
9. За счет чего можно увеличить дальность связи на РРЛ пролете без увеличения мощности излучения?

Лабораторная работа № 8
«Определение основных параметров системы
спутникового телевидения»

Лабораторное задание

Определить параметры для юстировки приемной антенны (азимута и угла места) в целях обеспечения связи между выбранным телекоммуникационным спутником, расположенным на геостационарной орбите, и абонентским приемным устройством.

1. Определить географические координаты точки, в которой будет приниматься сигнал со спутника.
2. Выбрать телекоммуникационный спутник, расположенный на геостационарной орбите.
3. Рассчитать азимут и угол места для юстировки наземной приемной антенны.
4. Определить для заданного варианта системы спутникового телевидения:
 - полосу пропускания абонентского приемного устройства;
 - требуемое отношение сигнал/шум на входе абонентского приемника;
 - затухание сигнала в свободном пространстве;
 - коэффициенты усиления спутниковой передающей антенны и абонентской антенны.
5. По найденным параметрам рассчитать необходимую мощность спутникового передатчика.

Порядок выполнения работы

1. Из приложения_А (Таблица А1) по № варианта определите координаты местности, в которой Вы проживаете.
2. Из приложения_А (Таблица А2) выберите спутник связи и запишите его название и положение на орбите.
3. Рассчитайте азимут и угол места для юстировки приемной антенны.

Перед расчетами нужно убедиться, что прием сигналов с выбранного спутника в данной точке возможен. Для этого необходимо проверить выполнение неравенства

$$\cos(D_{\text{сп}} - D) \cos \text{Ш} > 0.1513, \quad (1)$$

иначе спутник находится за линией горизонта.

Угол места, град.

$$\text{УМ} = \arctg \frac{\cos(D_{\text{сп}} - D) \cos \text{Ш} - 0,1513}{\sqrt{1 - \cos^2(D_{\text{сп}} - D) \cos^2 \text{Ш}}} \quad (2)$$

где $D_{\text{сп}}$ - долгота спутника (положение на орбите), град.;
 D - долгота места расположения абонентского приемника, град.;
 Ш - широта места расположения абонентского приемника, град.

Азимут, град.

$$A = 180^\circ + \arctg \frac{\text{tg}(D - D_{\text{сп}})}{\sin \text{Ш}} \quad (3)$$

Из таблицы АЗ выбрать исходные данные для выполнения расчетов.

4. Определите шумовую полосу частот абонентского приемника

$$\Delta f_{\text{ша}} = \gamma 2\Delta f_{\text{пик}}, \text{ Гц.} \quad (4)$$

где $\gamma = 1.1$ - коэффициент, определяемый избирательными свойствами приемника;

$\Delta f_{\text{пик}} = m_f F_{\text{макс}}$ - пиковая девиация частоты,

$F_{\text{макс}}$ - верхняя частота видеосигнала (для отечественного

стандарта $F_{\text{макс}} = 6$ МГц).

5. Определите необходимое отношение сигнал/шум на входе абонентского приемника

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} = \frac{\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} F_{\text{макс}}^3}{12 \Delta f_{\text{ша}} \Delta f_{\text{пик}}^2 k_{\text{в}}}, \quad (5)$$

где $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$, ед. - нормируемое отношение с/ш в канале на выходе демодулятора (для спутникового ТВ канала 1-го класса - 53 дБ, 2-го класса - 48 дБ);

$k_{\text{в}} = 65$ ед. - влияние взвешивающих и восстанавливающих контуров (18.1 дБ).

Полученное значение $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$ нужно выразить в дБ

$$(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}, \text{ дБ} = 10 \lg [(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}, \text{ ед.}] \quad (6)$$

6. Определите коэффициент запаса на участке спутник-абонентский приемник

$$a_{ca} = \frac{a_{3c}}{a_{3c} - 1} \quad (7)$$

7. Рассчитайте эквивалентную шумовую температуру абонентской приемной установки

$$T_{\text{пр у}} = T_a \eta_{\text{ф}} + T_o (1 - \eta_{\text{ф}}) + T_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где T_a - эквивалентная шумовая температура антенны (200 К);

T_o - абсолютная температура окружающей среды (290 К);

$\eta_{\text{ф}}$ - КПД фидерной линии (0.7-0.9);

$T_{\text{пр}}$ - эквивалентная шумовая температура приемника (150 - 500 К).

8. Рассчитайте ослабление сигнала в свободном пространстве

$$L_0 = 20 \lg (4.189 * 10^4 d F), \text{ дБ}, \quad (9)$$

где F - рабочая частота, ГГц,

d - максимальная наклонная дальность, соответствующая расстоянию от спутника до абонентской станции на границе зоны видимости, км.

$$d = \sqrt{H_{\text{орб}}(2R_3 + H_{\text{орб}})} \quad (10)$$

где $H_{\text{орб}}$ - высота геостационарной орбиты (35800 км);
 R_3 - радиус Земли (6370 км)

$$L_0, \text{ раз} = 10^{(L_0, \text{ дБ} / 10)}, \quad (11)$$

9. Определите коэффициенты усиления бортовой передающей антенны и антенны абонентской установки.

Антенна спутника

$$G_{\text{пд с}} = h_a (49000 / \Delta\varphi_{\text{б}}), \text{ раз}, \quad (12)$$

где h_a - коэффициент использования поверхности зеркала антенны (0.5-0.6).

$$G_{\text{пд с}}, \text{ дБ} = 10 \lg (G_{\text{пд с}}, \text{ раз}). \quad (13)$$

Антенна абонентского приемника

$$G_{\text{пр а}}, \text{ дБ} = 20 \lg (D) + 20 \lg (f) + 17.5, \quad (14)$$

где D - диаметр антенны, м, f - рабочая частота, ГГц.

$$G_{\text{пр а}}, \text{ раз} = 10 (G_{\text{пр а}}, \text{ дБ} / 10). \quad (15)$$

10. Рассчитайте требуемую мощность бортового передатчика

$$P_{\text{пд с}} = \frac{L_0 L_{\text{доп}} k T_{\text{пр у}} \Delta f_{\text{ша}} a_{\text{са}}}{G_{\text{пр а}} G_{\text{пд с}} \eta_{\text{сп}} \eta_{\text{па}}} \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}}_{\text{вх}} \right), \quad (16)$$

где $L_{\text{доп}} = 3$ (4.8 дБ) - дополнительные потери в атмосфере;

$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ - постоянная Больцмана;

$\eta_{\text{сп}} = \eta_{\text{па}} = 0.7 - 0.9$ - КПД фидеров на спутнике и в абонентском приемнике;

$\Delta f_{\text{ша}}$ шумовая полоса частот абонентского приемника (расчитана по формуле 3), Гц.

Результаты выполнения практической работы запишите в таблицы исходных и расчетных данных, формы которых приведены ниже:

Форма отчетности

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

о) исходные данные в соответствии с вариантом.

– Номер зачетной книжки

– Общие данные для расчета взятые из Приложения А по форме, представленной ниже

Название спутника (Дсп)	.....
Д / Ш, град	.....
F, ГГц	.....
$\Delta\phi_6$, град	.....
Da, м	.....
m_f , ед	.....
$a_{зс}$, ед	.....

п) Результаты выполнения практической работы запишите в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

УМ, град	.....
A, град	.....
$\Delta f_{\text{ша}}$, МГц	.....
$(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$, раз / $(P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$, дБ	.....
$T_{\text{пр } \gamma}$, град. К	.....
L_0 , раз / L_0 , дБ	.....
$G_{\text{пд } c}$ раз / $G_{\text{пд } c}$, дБ	.....
$G_{\text{пр } a}$, раз / $G_{\text{пр } a}$, дБ	.....
$P_{\text{пд}}$, Вт	.....

Приложение А

Таблицы исходных данных

Таблица А1- Географические координаты некоторых городов России

Последние две цифры номера зач. книжки	Название	Координаты, град
01, 51	Архангельск	64 СШ, 41 ВД
02, 52	Астрахань	47 СШ, 48 ВД
03, 53	Барнаул	53 СШ, 83 ВД
04, 54	Братск	56 СШ, 102 ВД
05, 55	Брянск	53 СШ, 34 ВД
06, 56	Владивосток	43 СШ, 132 ВД
07, 57	Волгоград	49 СШ, 44.5 ВД
08, 58	Вологда	59 СШ, 39.5 ВД
09, 59	Воронеж	53 СШ, 39 ВД
10, 60	Воркута	67 СШ, 64 ВД
11, 61	Екатеринбург	57 СШ, 60 ВД
12, 62	Ижевск	57 СШ, 53 ВД
13, 63	Йошкар-Ола	57 СШ, 47.7 ВД
14, 64	Казань	56 СШ, 49 ВД
15, 65	Калининград	54.5 СШ, 20 ВД
16, 66	Калуга	54 СШ, 37 ВД
17, 67	Краснодар	45 СШ, 38 ВД
18, 68	Красноярск	56 СШ, 93 ВД
19, 69	Курск	53 СШ, 37 ВД
20, 70	Магадан	59 СШ, 151 ВД
21, 71	Магнитогорск	53 СШ, 61 ВД
22, 72	Москва	56 СШ, 37 ВД
23, 73	Мурманск	68.5 СШ, 33 ВД
24, 74	Н- Новгород	56.5 СШ, 44 ВД
25, 75	Новосибирск	55 СШ, 83 ВД
26, 76	Новороссийск	44 СШ, 37 ВД
27, 77	Норильск	69 СШ, 88 ВД
28, 78	Омск	54 СШ, 73 ВД
29, 79	Оренбург	51.5 СШ, 55 ВД

30, 80	Орел	56 СШ, 36 ВД
31, 81	Пермь	58 СШ, 56 ВД
32, 82	Петрозаводск	61.5 СШ, 34 ВД
33, 83	Псков	57.5 СШ, 28 ВД
34, 84	Ростов на Дону	47 СШ, 40 ВД
35, 85	Самара	52 СШ, 50.5 ВД
36, 86	Ст-Петербург	59.5 СШ, 30 ВД
37, 87	Смоленск	54 СШ, 33 ВД
38, 88	Сочи	43 СШ, 39 ВД
39, 89	Ставрополь	45 СШ, 43.5 ВД
40, 90	Сыктывкар	62 СШ, 51 ВД
41, 91	Тамбов	55 СШ, 42 ВД
42, 92	Тверь	57 СШ, 36 ВД
43, 93	Томск	57 СШ, 84.5 ВД
44, 94	Улан-Уде	52 СШ, 107 ВД
45, 95	Уфа	54 СШ, 56 ВД
46, 96	Хабаровск	48 СШ, 133 ВД
47, 97	Челябинск	55 СШ, 61.3 ВД
48, 98	Чита	52 СШ, 113 ВД
49, 99	Ярославль	57 СШ, 39.5 ВД
50, 00	Якутск	62 СШ, 129 ВД

Таблица А2 - Координаты основных телевещательных спутников

Название спутника связи	Положение на орбите	Язык
Горизонт-36	103° в. д.	Русский
Горизонт-31	90° в. д.	Русский
Горизонт-35	80° в. д.	Русский
Panamsat 4	68.5° в. д.	Англ., африканас
Intelsat 4	60° в. д.	Русский
Intelsat 703	57° в. д.	Русский, казахский
Горизонт-38	53° в. д.	Русский
Галс 1&2 **	36° в. д.	Русский
Astra **	19.2° в. д.	Англ., нем., хинди
Eutelsat II-F3	16° в. д.	Араб., фр., ит. и пр.
Hot Bird **	13° в. д.	разные
Eutelsat II-F2	10° в. д.	Англ., тур., ит. и пр.
Eutelsat II-F4	7° в. д.	Греч. и пр.

Sirius **	5.2° в. д.	Швед., англ.
Thor **	0.8° в. д.	Сканд., англ
Intelsat 707	1° з. д.	Норв., англ., фр.

ПРИМЕЧАНИЕ: - ** спутниковый ТВ канал 1-го класса

Таблица А3 - Таблица для выбора данных для энергетического расчета спутникового канала

Последние две цифры номера зач. книжки	F, ГГц	$\Delta\phi_0$, град	Da, м	m_f , ед	$a_{зс}$, ед.
01, 21, 41, 61, 81	11.9	5.5	1.0	1.7	8
02, 22, 42, 62, 82	11.8	6.0	1.1	1.6	11
03, 23, 43, 63, 83	12.8	4.0	0.9	1.9	7
04, 24, 44, 64, 84	12.0	3.5	1.3	1.8	9
05, 25, 45, 65, 85	12.1	3.0	1.3	1.6	10
06, 26, 46, 66, 86	12.2	4.0	1.4	1.7	7
07, 27, 47, 67, 87	12.3	4.5	1.5	1.0	8
08, 28, 48, 68, 88	12.4	5.0	1.6	1.2	9
09, 29, 49, 69, 89	12.5	5.5	1.8	1.3	11
10, 30, 50, 70, 90	12.6	6.0	1.9	1.7	9
11, 31, 51, 71, 91	11.7	3.0	1.4	1.5	8
12, 32, 52, 72, 92	12.3	3.5	1.2	1.6	7
13, 33, 53, 73, 93	11.6	4.0	1.1	1.8	11
14, 34, 54, 74, 94	11.5	4.5	1.4	1.6	10
15, 35, 55, 75, 95	11.7	5.0	1.5	1.7	8
16, 36, 56, 76, 96	11.8	5.5	1.3	1.5	8
17, 37, 57, 77, 97	11.9	6.0	0.9	1.6	9
18, 38, 58, 78, 98	12.0	5.5	1.0	1.7	10
19, 39, 59, 79, 99	12.1	5.0	1.3	1.8	11
20, 40, 60, 80, 00	12.2	4.5	1.6	1.9	9

Лабораторная работа № 9

«Расчёт электромагнитной совместимости двух спутниковых систем связи»

Цель работы: Обучить студентов принципам расчета параметров сети спутниковой связи.

Провести оценку электромагнитной совместимости двух спутниковых систем: проектируемой и существующей.

Рассчитать мешающее влияние одной спутниковой системы на другую, сравнить степень влияния с допустимым значением.

Таблица 1 - Варианты исходных данных для выполнения лабораторных заданий

Вариант		Последняя цифра зачетной книжки				
		0, 6	1, 7	2, 4	3, 8	5, 9
Предпоследняя цифра зачетной книжки	0, 5	A→B	A→C	A→D	B→E	B→C
	1, 6	B→D	C→B	D→B	C→A	X→D
	2, 7	D→C	D→A	A→B	A→C	A→D
	3, 8	B→A	B→E	C→E	D→E	D→E
	4, 9	B→D	C→D	C→A	D→C	B→E

Таблица 2 - Параметры передающих ЗС

Система	A	B	C	D	E
Координаты	78° в.д. 42° с.ш.	52° в.д. 47° с.ш.	43° в.д. 69° с.ш.	65° в.д. 45° с.ш.	55° в.д. 50° с.ш.
Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Диаметр антенны DA, м	6	10	9	8	3
Эффективная полоса частот Δfш, МГц	36	33	36	72	36
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц	-32	-33	-34	-30	-34
Отношение сигнал/шум Pс/Pш, дБ	16	16,5	15	14	17
КПД АФТ	0,95	0,90	0,85	0,90	0,80

Таблица 3 - Параметры бортовых ретрансляторов КС

Система	A	B	C	D	E	
Координаты	103° в.д.	101° в.д.	95° в.д.	85° в.д.	66° в.д.	
Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11	
Коэффициент усиления антенны G, дБ	Прием	33	35	28	30	29
	Передача	28	30	25	27	26

Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц	-54	-53	-52	-51	-50
Коэффициент шума приемника КШ	8	7,5	6	5	7
Шумовая температура антенны ТА, К	40	50	55	60	45
КПД АФТ	0,80	0,90	0,90	0,85	0,80
Шумовая температура СЛ T _{ЭЛ} , К	100	95	90	100	110

Таблица 6 - Параметры приемных ЗС

Система	А	В	С	Д	Е
Координаты	35° в.д. 60° с.ш	85° в.д. 45° с.ш.	73° в.д. 49° с.ш.	52° в.д. 47° с.ш.	78° в.д. 42° с.ш.
Диапазон f, ГГц	14/11	14/11	14/11	14/11	14/11
Диаметр антенны DA, м	3	8	9	10	6
Эффективная полоса частот Δfш, МГц	36	72	36	33	36
Коэффициент шума приемника КШ	6	8	7	5	7,5
Шумовая температура антенны ТА, К	60	58	70	80	90
КПД АФТ	0,90	0,80	0,85	0,90	0,85

Для оценки мешающего влияния использовать методику, согласно которой относительное приращение эффективной шумовой температуры приемного тракта системы, подверженной влиянию, не должно превышать 6% значения шумовой температуры при отсутствии влияния.

При расчетах полагать, что антенна космической станции проектируемой системы имеет широкий луч; коэффициент передачи спутниковой линии $\gamma = -15\text{дБ}$ (0,032).

1 Оценка возможных взаимных помех между спутниковыми системами

Для определения необходимости координации с какой-либо системой проводится упрощенная оценка возможных взаимных помех между системами, заключающаяся в расчете кажущегося увеличения эквивалентной шумовой температуры спутниковой линии, вызванного помехами, и последующем сравнении полученного значения, выраженного в процентах, с пороговым значением, определенным Регламентом радиосвязи. Важно отметить, что анализируются помехи в обоих направлениях, т.е. помехи как создаваемые заявляемой системой, так и испытываемые ею. Превышения порогового зна-

чения приращения эквивалентной шумовой температуры линии в любой из анализируемых систем достаточно для заключения о необходимости координации.

При расчетах приращения эквивалентной шумовой температуры линии необходимо рассмотреть два возможных случая:

1) обе системы совместно используют одну или несколько полос частот, причем направления передачи в совпадающих полосах в обеих системах совпадают;

2) обе системы совместно используют одну или несколько полос частот, причем передача в совпадающих полосах ведется в системах в противоположных направлениях (реверсное использование частот).

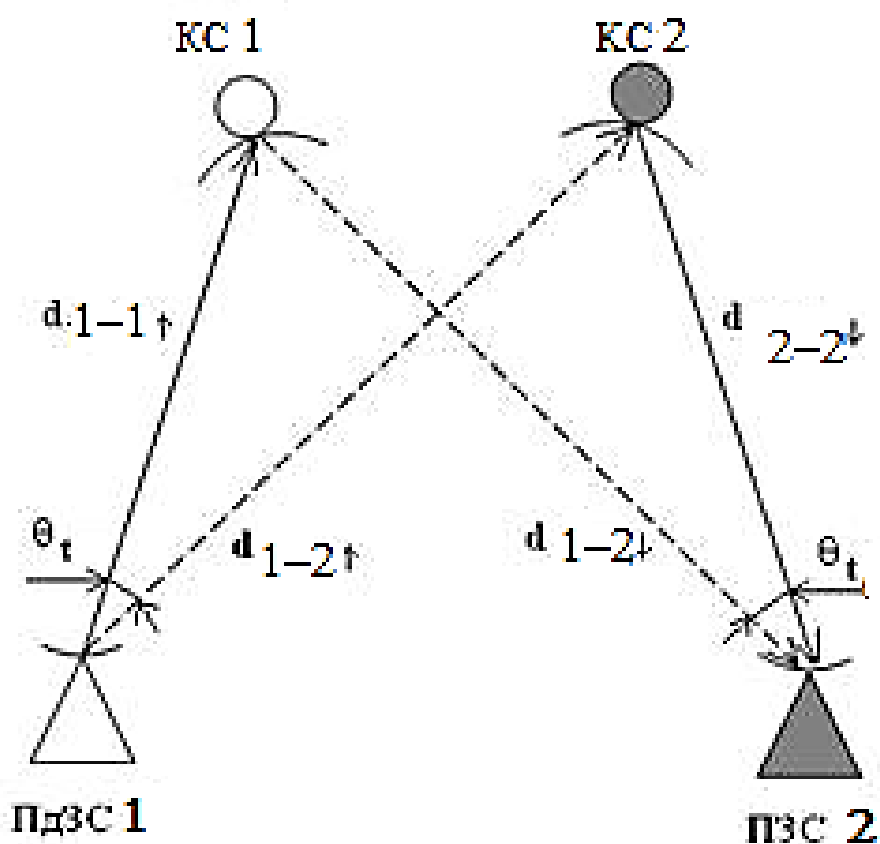


Рисунок 1 - Пояснение взаимодействия двух спутниковых систем

2 Расчет расстояния между земной станцией и геостационарным спутником

$$d = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0.2954 \cdot \cos \psi},$$

где $\cos \psi = \cos \xi \cdot \cos \beta$;

ξ, β - соответственно широта земной станции и разность по долготе между спутником и земной станцией;

d_1 - наклонная дальность между ПдЗС 1 и КС 1

d_2 - наклонная дальность между ПдЗС 1 и КС 2.

d_3 - наклонная дальность между КС 1 и ПЗС 2.

Топоцентрический угловой разнос
Топоцентрический угловой разнос между двумя КС в точке расположения ПдЗС 1:

$$\theta_{tB} = \arccos \frac{\left[d_1^2 + d_2^2 - (84332 \sin \frac{\theta_g^0}{2})^2 \right]}{2 \cdot d_1 \cdot d_2}$$

θ_g - разность по долготе между спутниками

3 Расчет коэффициента усиления антенны земной станции в заданном направлении

Для антенн больших размеров при $\frac{D_B}{\lambda} \geq 100$ (максимальное усиление):

$$G(\varphi)_M = 32 - 25 \lg \varphi,$$

где φ – угол между осью антенны и заданным направлением, град.

Для антенн малых размеров при $\frac{D}{\lambda} < 100$:

$$G(\varphi)_M = 32 - 10 \lg \frac{D}{\lambda} - 25 \lg \varphi,$$

где D – диаметр антенны;

λ – длина волны.

4 Расчет увеличения шумовой температуры приемной системы на выходе приемной антенны

4.1 Увеличение шумовой температуры приёмной системы бортового ре-транслятора, подверженного влиянию

$$\Delta T\delta = S + G_{ЗС} + G_{КС} + 228,6 - L_0$$

где S - спектральная плотность мощности, подводимая к передающей антенне мешающей станции;

$G_{ЗС}$ - коэффициент усиления антенны мешающей передающей ЗС, дБ;

G_{KC} - коэффициент усиления антенны спутника, подверженной влиянию (на приём), дБ;

$L_0 = 20(\lg f_{ПЕР} + \lg d) + 32,45$ - ослабление сигнала на линии мешающая передающая земная станция – спутник, подверженный влиянию, дБ;

4.2 Приращение эквивалентной шумовой температуры линии

$$\Delta T_{Л} = \Delta T_{з} + \gamma \Delta T_{\delta}$$

где $\gamma = -15$ дБ (0,032) – коэффициент передачи спутниковой линии, если поляризация на двух системах одинаковая;

4.3 Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы, подверженной влиянию

$$\frac{\Delta T_{Л}}{T} \cdot 100$$

где T – шумовая температура спутниковой линии связи системы, подверженной влиянию

На основании проведенных расчетов сделать вывод, есть необходимости производить коррекцию между системами или между системами коррекция не требуется .

Пример расчета.

Исходные данные - согласно варианта задания

1 → 3 (Система 1 влияет на систему 2).

1. Расчет расстояния между земной станцией и геостационарным спутником

d_1 - наклонная дальность между ПдЗС 1 и КС 1

$$\begin{aligned} d_1 &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(11^\circ) \cdot \cos(50^\circ)} = \\ &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,982 \cdot 0,643} = 38463,33 \text{ км;} \end{aligned}$$

d_2 - наклонная дальность между ПдЗС 1 и КС 2.

$$\begin{aligned} d_2 &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(40^\circ) \cdot \cos(50^\circ)} = \\ &= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,643 \cdot 0,766} = 39419,66 \text{ км;} \end{aligned}$$

d_3 - наклонная дальность между КС 1 и ПЗС 2.

$$d_3 = 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \cos(79^\circ)} =$$

$$= 42644 \sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,993 \cdot 0,707} = 37964,72 \text{ км};$$

2. Топоцентрический угловой разнос между двумя КС в точке расположения ПдЗС 1:

$$\theta_i = \arccos \frac{\left[38463,33^2 + 39419,66^2 - (84332 \sin \frac{29^\circ}{2})^2 \right]}{2 \cdot 38463,33 \cdot 39419,66} = \arccos(0,853)$$

$$\theta_i = 31,43^\circ$$

3. Расчет коэффициента усиления антенны земной станции в заданном направлении

$$\text{Для ПдЗС 1 параметр } \frac{D_B}{\lambda_\uparrow} = \frac{D_B \cdot f_\uparrow}{c} = \frac{3 \cdot 14 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 140 > 100, \text{ угол } \varphi - \text{ угол}$$

между направлением на КС 1 и КС 2, т.е $\varphi = \theta_{iB}$, тогда коэффициент усиления

$$G(\varphi)_B = 32 - 25 \lg \varphi = 32 - 25 \lg 31,43^\circ = -5,43 \text{ дБ}$$

$$\Phi_z = 15,85 (3/0,027)^{-0,6} = 0,938$$

$$0,938 < 31,43^\circ < 48^\circ$$

$$\text{Для ПЗС 2 параметр } \frac{D_E}{\lambda_\downarrow} = \frac{D_E \cdot f_\downarrow}{c} = \frac{9 \cdot 11 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 330, \text{ угол } \varphi - \text{ угол между}$$

направлением на КС 2 и КС 1, т.е $\varphi = \theta_{iD}$, тогда коэффициент усиления

$$G(\varphi)_E = 32 - 25 \lg \varphi = 32 - 25 \lg 31,43^\circ = -5,43 \text{ дБ}$$

$$\Phi_z = 15,85 (9/0,021)^{-0,6} = 0,417$$

$$0,417 < 31,43^\circ < 48^\circ$$

4 Расчет увеличения шумовой температуры приемной системы на выходе приемной антенны

Для определения увеличения шумовой температуры на выходе приемной антенны КС 2: спектральная плотность мощности мешающей ПдЗС 1 равна -34 дБВт/Гц; коэффициент усиления антенны ПдЗС 1 в направлении на КС 2 равен $-5,43$ дБ; коэффициент усиления КС 2 равен 28 дБ:

$$L_0 = 20(\lg f_{ПЕР} + \lg d_2) + 32,45 = 20(\lg 14000 + \lg 39419,66) + 32,45 = 174,72 + 32,45 = 207,05, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T\delta = -34 + (-5,43) + 28 + 228,6 - 207,05 = 10,12, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T\delta = 10^{\frac{10,12}{10}} = 10,28 = 10 \text{ К}$$

Для определения увеличения шумовой температуры на выходе приемной антенны ЗС 2: спектральная плотность мощности мешающей

КС 1 равна 26 дБВт/Гц; коэффициент усиления антенны КС 1 равен -50 дБ; коэффициент усиления ПЗС 2 в направлении на мешающую КС 1 равен -5.43 дБ:

$$Lg = 20(\lg f_{\text{ПР}} + \lg d_3) + 32,45 = 20(\lg 11000 + \lg 37964.72) + 32,45 = 204.84, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T_3 = -50 + (-5.43) + 26 + 228,6 - 204.84 = -5.67, \text{ дБ.}$$

$$\Delta T_3 = 10^{\frac{-5.67}{10}} = 0.27, \text{ К.}$$

Приращение эквивалентной шумовой температуры линии

$$\Delta T_{\text{Л}} = 0.27 + 0.032 \cdot 10 = 0.59, \text{ К,}$$

Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы

$$\frac{0.59}{90} \cdot 100\% = 0.66\% < 6\%$$

Форма отчетности по практической работе

По результатам выполнения практической работы в отчете нужно представить:

- ФИО студента и номер зачетной книжки
- данные для расчета, взятые из таблицы исходных данных по форме, представленной ниже:

Параметры КС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон f, ГГц	.....	.....
Коэффициент усиления антенны G, дБ	.....	.....
- Прием		
- Передача		
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц	.....	.....
Коэффициент шума приемника K _ш	.....	.....
Шумовая температура антенны T _А , К	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....
Шумовая температура СЛ T _{ΣЛ} , К	.....	.....
Параметры ЗС		
Система	.....	.....
Координаты	.....	.....
Диапазон f, ГГц	.....	.....
Диаметр антенны D _А , м	.....	.....
Эффективная полоса частот Δf _ш , МГц	.....	.....
Отношение сигнал/шум P _с /P _ш , дБ	.....	.....
Спектральная плотность мощности S, дБВт/Гц	.....	.....
КПД АФТ	.....	.....

Коэффициент шума приемника КШ		
Шумовая температура антенны ТА, К		
КПД АФТ		
Шумовая температура СЛ $T_{\Sigma Л}$, К		

р) Ход проведения расчетов.

с) Результаты выполнения практической работы, занесенные в таблицу расчетных данных, форма которой приведена ниже:

Топоцентрический угловой разнос	.....
Увеличение шумовой температуры на выходе приемной антенны КС	.....
Увеличение шумовой температуры на выходе приемной антенны ЗС	.....
Относительное приращение эффективной шумовой температуры приёмного тракта системы, подверженной влиянию	.....
Вывод о необходимости коррекции между системами	.....