

КОСМИЧЕСКИЕ И НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ

Методические указания по выполнению курсового проекта

Оглавление

Введение

- 1 Исходные данные для проектирования
- 2 Основные технические данные ЦРРС отечественного производства
- 3 Рекомендации по выполнению курсового проекта
- 4 Оформление курсового проекта
- 5 Пример выполнения расчетной части курсового проекта
 - 5.1 Разработка структурной схемы ЦРРЛ
 - 5.2 Выбор радиотехнического оборудования
 - 5.3 Разработка схемы организации связи
 - 5.4 Расчет устойчивости связи на ЦРРЛ
 - 5.4.1 Построение профиля пролета
 - 5.4.2 Расчет величины геометрического просвета $H(0)$
 - 5.4.3 Расчет минимально-допустимого множителя ослабления
 - 5.4.4 Расчет устойчивости связи на пролете при одинарном приеме
 - 5.4.4.1 Расчет $T_0(V_{\text{мин}})$
 - 5.4.4.2 Расчет составляющей, обусловленной интерференцией прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности
 - 5.4.4.3 Расчет замираний, обусловленных интерференцией прямой волны и волн, отраженных от неоднородностей тропосферы
 - 5.4.4.4 Расчет замираний, обусловленных потерями энергии в осадках
 - 5.4.4.5 Расчет замираний для всей ЦРРЛ $T_{\text{ож}}(V_{\text{мин}})$
 - 5.4.4.6 Расчет устойчивости связи при наличии резервирования
 - 5.4.4.7 Методика расчета устойчивости связи для случая «вогнутого пролета»
 - 5.4.4.8 Оптимизация высот подвеса антенн
 - 5.4.4.9 Расчет диаграммы уровней на пролетах ЦРРЛ
 - Список литературы

Введение

Технология цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) в настоящее время достигла высокого качественного и количественного развития. Сегодня радиорелейные линии являются необходимым звеном телекоммуникационного пространства России и успешно конкурируют с другими средствами связи, в том числе кабельными и спутниковыми. Широкое распространение получили ЦРРЛ синхронной и плездохронной цифровой иерархии.

Темой курсового проекта является проектирование цифровой радиорелейной линии плездохронной цифровой иерархии.

Рекомендуется перед выполнением проекта изучить принципы построения цифровых радиорелейных линий, особенности передачи сигналов по ЦРРЛ. Необходимо ознакомиться с методикой расчета качественных показателей ЦРРЛ (раздел 3 теоретического материала по дисциплине).

Целью курсового проекта является закрепление знаний, полученных в процессе изучения дисциплины «Космические и наземные системы радиосвязи», освоение методики расчета качественных показателей ЦРРЛ.

1 Исходные данные для проектирования

Вариант задания на курсовой проект выбирается в соответствии с номером студенческого билета.

Исходные данные для курсового проектирования даны в таблицах 1.1 – 1.4.

Таблица 1.1- Протяженность ЦРРЛ и объем передаваемой информации

Последняя цифра студенч.билета	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина РРЛ, км	100	240	80	70	65	260	110	55	125	90
Объем информации (каналы тч или цифровые потоки)	2E1	120	480	E2	60	30	E1	120	90	16E1

Длина пролета, R_0 , км	45	50	15	18	20	45	38	12	42	25
Число выделяемых каналов (потоков)	15	40	2Е1	35	24	10	12	70	45	5Е1
Конфигурация системы	Выбирается после проведения расчета качественных показателей									
Тип АТС	Электронная	Аналоговая		Аналоговая		Электронная				
Число вводимых каналов	Равно числу выделяемых каналов (потоков)									

Примечания:

1. Курсовой проект является учебным! Структура ЦРПЛ в данном случае является упрощенной и содержит две оконечных станции и промежуточные станции.
2. Информационные сигналы поступают от АТС в аналоговой или цифровой форме. Обратите на это внимание.
3. Количество вводимых каналов на ПРС равно числу выделяемых каналов.
4. Количество ПРС с выделением/вводом информации равно 1.

Таблица 1.2 – Высотные отметки точек профиля пролета

Последние две цифры студ.билета	Относительные координаты $\left(k_i = \frac{R_i}{R_0}\right)$ и высотные отметки профиля (y_2), м											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
00 20 40 60 80	43	65	75	70	60	65	65	75	80	90	55	
01 21 41 61 81	75	60	85	90	95	80	65	55	70	80	78	
02 22 42 62 82	45	60	40	30	40	55	60	70	60	40	35	

03 63	23 83	43	48	60	40	20	30	35	40	60	50	40	30
04 64	24 84	44	50	50	40	45	45	55	70	70	50	50	45
05 65	25 85	45	75	80	80	90	85	75	60	50	60	80	70
06 66	26 86	46	50	65	80	90	85	80	65	50	60	75	85
07 67	27 87	47	46	90	80	75	65	65	80	70	75	65	60
08 68	28 88	48	70	80	60	50	60	75	85	90	80	80	75
09 69	29 89	49	30	40	60	70	70	50	40	30	40	60	40
10 70	30 90	40	63	63	76	74	72	65	57	63	76	89	77
11 71	31 91	51	53	60	72	71	70	66	58	57	68	83	80
12 72	32 92	52	43	57	68	68	66	65	61	55	61	77	63
13 73	33 93	53	33	55	62	65	63	63	61	56	56	70	58
14 74	34 94	54	40	54	56	61	59	60	57	53	63	63	43
15 75	35 95	55	44	63	90	89	86	72	55	60	77	91	87
16 76	36 96	56	43	59	85	86	85	78	61	54	67	84	50
17 77	37 97	57	70	92	74	55	79	83	81	79	68	54	58
18 78	38 98	58	76	96	74	52	41	55	64	65	67	68	48
19 79	39 99	59	79	99	74	56	35	20	26	44	52	57	45

Примечания: 1. Коэффициент отражения от земной поверхности принять равным 1.

2. Профиль пролета задан в прямоугольной системе координат в виде высотных отметок местности y_2 .

3. При проектировании профили пролетов строятся с учетом кривизны земной поверхности. Для этого рассчитывается линия условного нулевого уровня (УНУ) y_1 :

$$y_1 (k_i) = [R^2 / 2 R_3] k_i (1 - k_i) \quad (1.1)$$

где R- длина пролета, км,
 R_3 – геометрический радиус Земли (6370 км),
 k_i – текущая относительная координата заданной точки:

$$K_i = R_i / R,$$

где R_i - расстояние от начала пролета до текущей точки.

Расчет $y_1 (k_i)$ производят для тех же относительных координат, для которых заданы высотные отметки y_2 . Профиль пролета (точки y) получают, прибавляя к высотам условного нулевого уровня высотные отметки Земли из таблицы 1.2:

$$y = y_1 + y_2 \quad (1.2)$$

Таблица 1.3- Параметры тропосферы

Последняя цифра студ. билета	Вертикальный градиент $g \cdot 10^{-8}, 1/м$	Стандартное отклонение $\sigma \cdot 10^{-8}, 1/м$	Номер климатического района
1	-6,0	6,5	1
2	-8,0	9,5	2
3	-7,0	7,0	3
4	-6,5	8,0	3
5	-9,0	9,0	2
6	-10,0	8,5	1
7	-6,5	8,0	1
8	-8,5	7,5	3
9	-10,0	9,0	2
0	-8,5	9,0	2

На ЦРРЛ на частотах выше 8 ГГц существенное влияние на распространение радиоволн оказывают замирания, обусловленные поглощением энергии радиоволн различного рода осадками (дожди).

Для определения длительности замираний по известному значению множителя ослабления $V_{мин}$ определяют минимально допустимую интенсивность дождей $I_{доп}$ для данного пролета (рисунок 1.1).

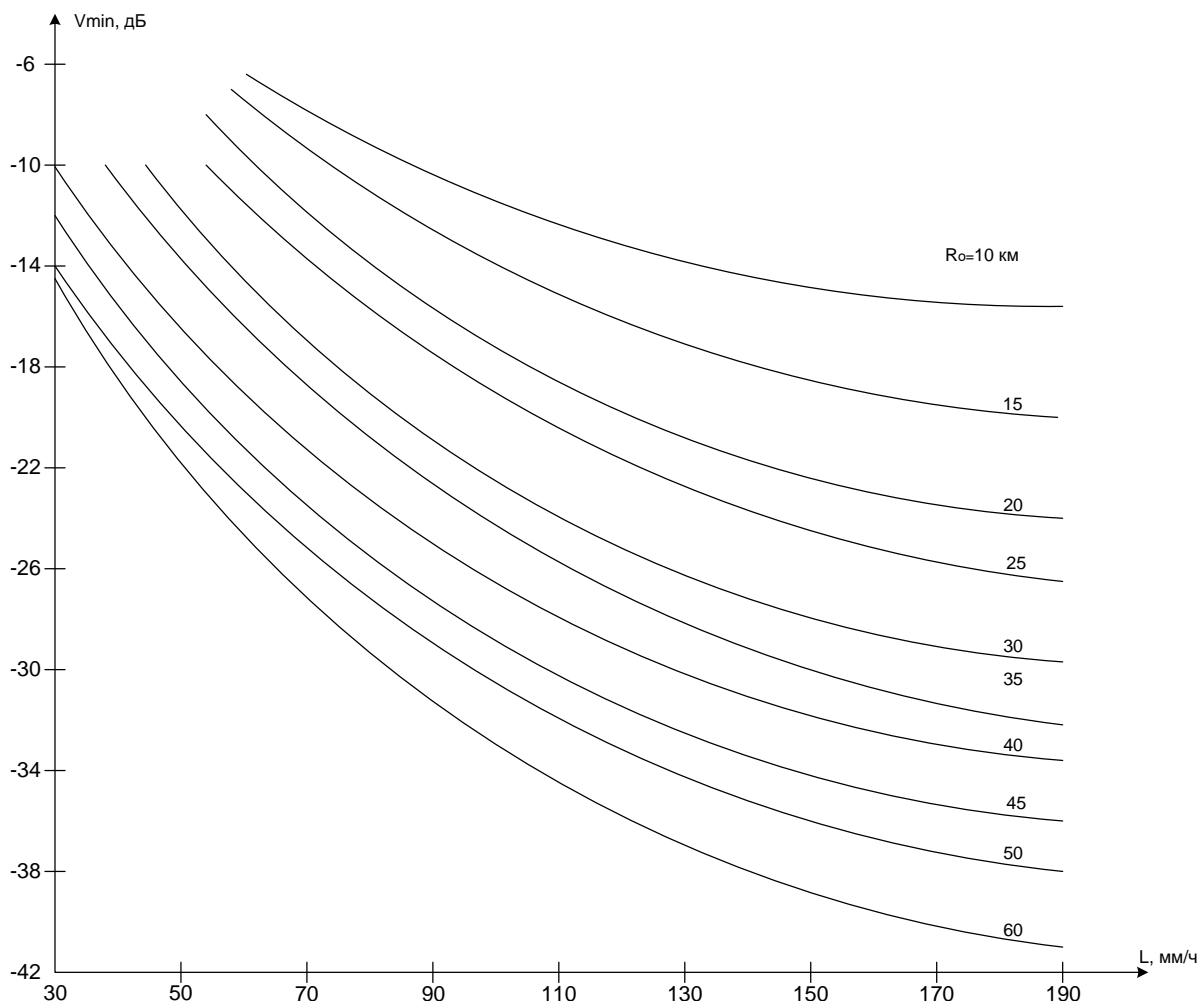


Рисунок 1.1 – Зависимости допустимой интенсивности дождей от длины пролета и множителя ослабления V_{\min}

После этого по найденному $I_{\text{доп}}$ для заданного климатического района можно определить процент времени, в течение которого $I > I_{\text{доп}}$, т.е. искомую величину замираний за счет дождей $T_d (V_{\min})$ по графикам, приведенным на рисунке 1.2.

На рисунке 1.2 кривые соответствуют следующим регионам:

- 1 - Европейская часть России,
- 2 - Западная Сибирь,
- 3 - Восточная Сибирь.

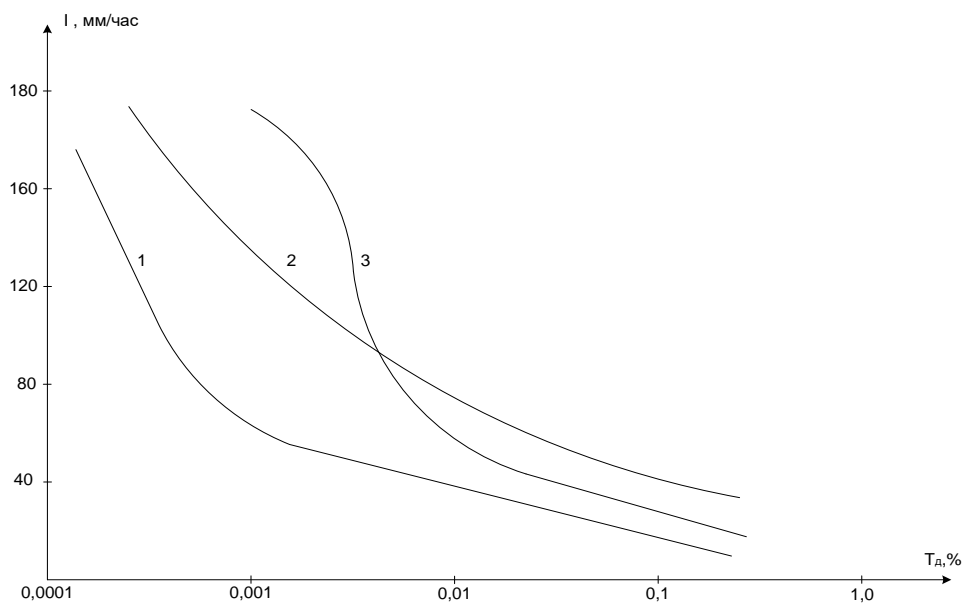


Рисунок 1.2 – Кривые для определения $T_d (V_{мин})$

Таблица 1.4 – Нормируемые значения неустойчивости связи на ЦРРЛ

Участок ВСС РФ	Длина эталонной ЦРРЛ (L), км	$T_{доп} (V_{мин}), \%$	Распределение $T_{доп} (V_{мин})$ для реальных линий
Международный участок	12500	0,06	Пропорционально длине
Магистральная сеть	2500	0,012	Пропорционально длине
Внутрizonовая сеть	600	0,012	Независимо от длины
	200	0,01	
Местная сеть	100	0,01	Независимо от длины
	50	0,01	

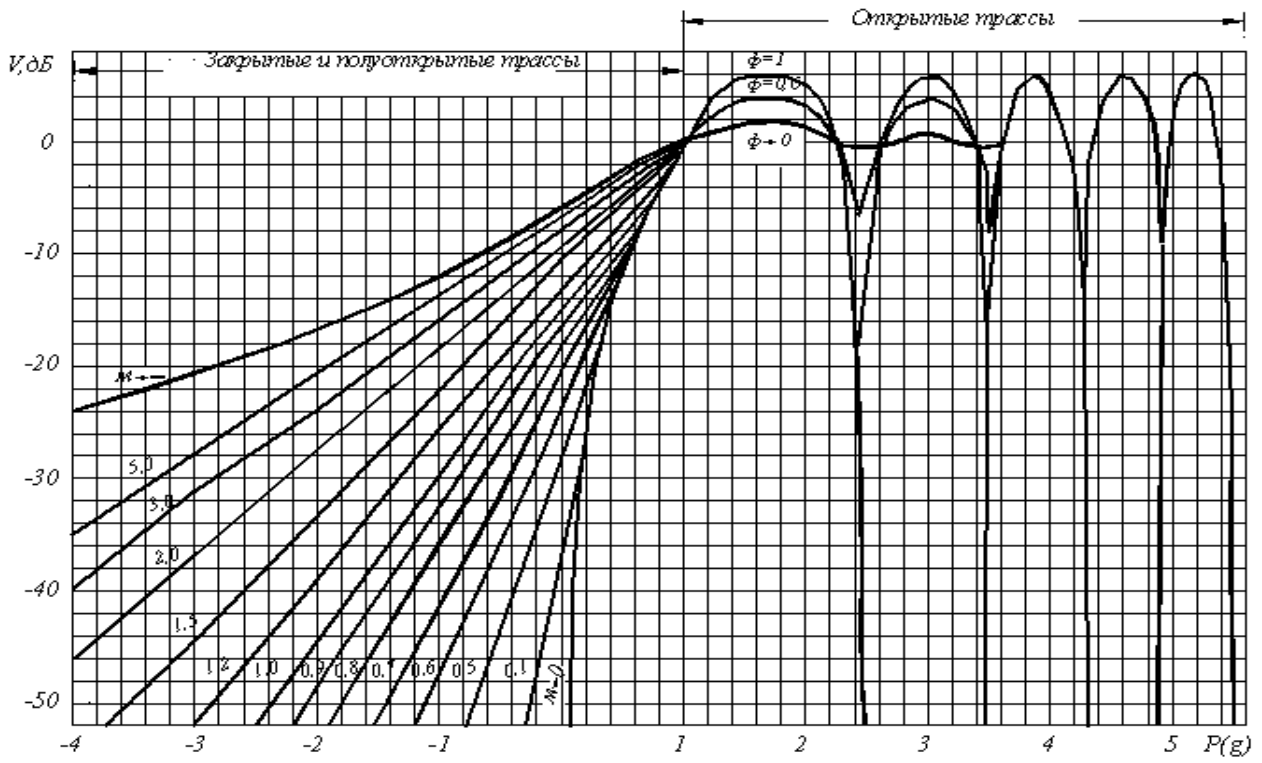


Рисунок 1.3- Зависимости множителя ослабления от относительного просвета

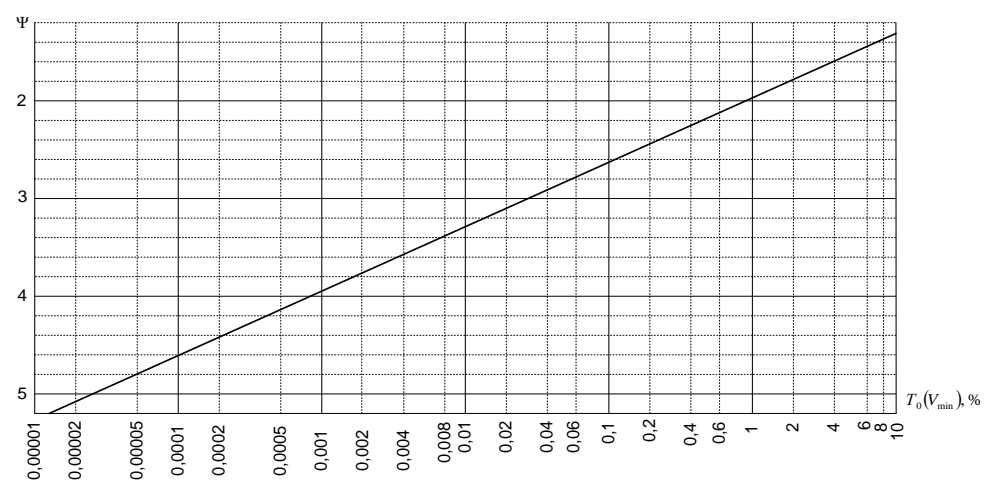


Рисунок 1.4 - Зависимость $T_0(V_{\min})$ от параметра ψ

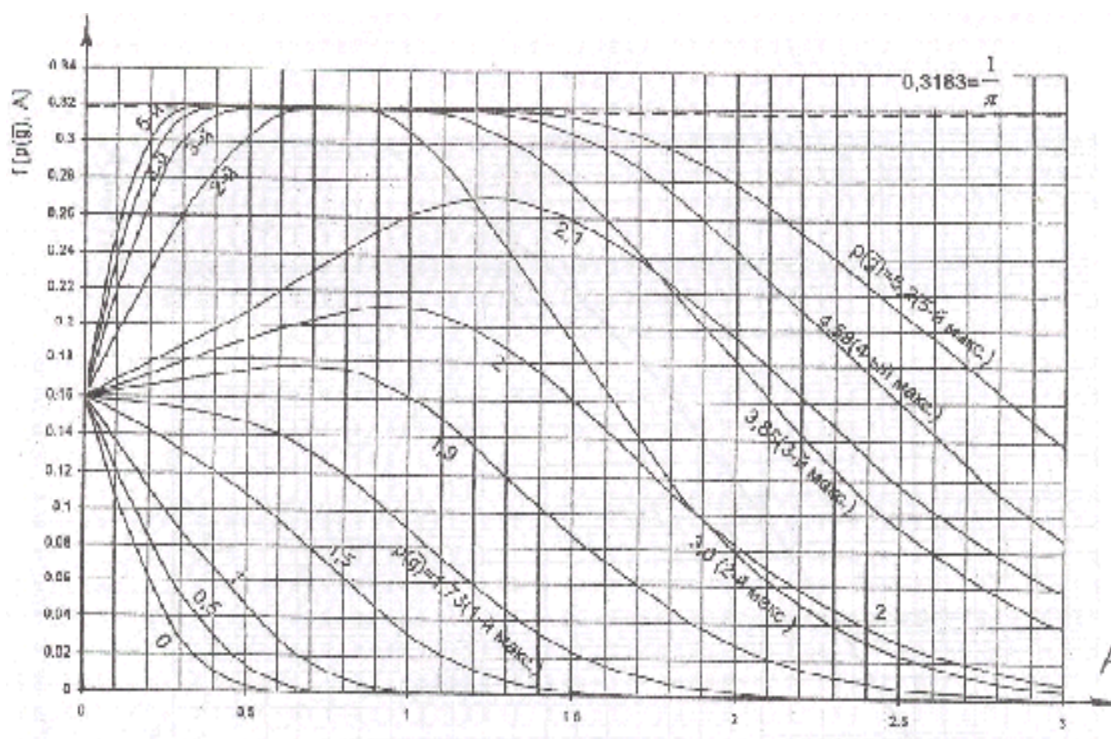


Рисунок 1.5 - Зависимости для определения двумерной функции $f [p (g), A]$

2 Основные технические данные ЦРРС отечественного производства

Технические данные ЦРРС отечественного производства приведены в таблицах 2.1 и 2.5.

Таблица 2.1 – Параметры отечественных низкоскоростных ЦРРС

Наименование модели	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Конфигурация системы	Излучаемая мощность, дБВт	$P_{пор}$, дБВт (BER=10 ⁻³)	Диаметр антенны, м
1	2	3	4	5	6	7
РАДАН-2	11	1,024	1+0; 2+0	- 10	-109	1
РАДАН-МС	11	E1	1+0; 2+0	-11	-120	То же
РАДАН-МС-СЛ	11	E1	1+0; 1+1	-11	-120	То же
РАДАН-МГ-120	11	(1-4) E1 E2	1+0; 1+1; 2+1	-11	-122	То же

Таблица 2.1 - Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
ЭРИКОМ-2	2	2,048	1+0; 1+1; 2+1	-10	-119	0,5
ЭРИКОМ-11	11	E1; E2	1+0	-13	-119	0,6; 1
ЭРИКОМ-13	13	E1; E2	1+0	-13	-119	0,6
ЭРИКОМ-43	43	E1; E2	1+0	-14	-115	0,4
ПРОСВЕТ-8М	8	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-2	-119	1,2
ПРОСВЕТ-13	13	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-11	-118	1,25; 0,9; 0,6
ПРОСВЕТ-15	15	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-11	-117	1,25; 0,9; 0,6
ПРОСВЕТ-18	18	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-9	-117	Тоже
ПРОСВЕТ-40	40	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-13	-115	0,9; 0,6
ПРОСВЕТ-11	11	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-2	-119	1,25; 0,9
ПЕРЕВАЛ-1	36	E1	1+0	-10...-5	-103	0,5
ПЕРЕВАЛ-2	36	E1; E2	1+0; 1+1	-10...-5	-103	0,5
ИСЕТЬ, ИСЕТЬ-М	15	E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-6	-83	0,6
СИМВОЛ	2	E1	1+0; 1+1	-3	-122	1,7
ПИХТА-2М1	2	E1	1+0; 2+0	-5	-124	2,08
КЕДР-3	8	4E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-2	-119	1,25
ЗВЕЗДА-11	11	E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-7	-120	0,6; 1,2
РОДНИК-15	15	E1; E2	1+0; 1+1; 2+1	-12; -5	-122	0,5; 1

Таблица 2.2 - Основные технические данные среднескоростных отечественных цифровых РРС

Наименование модели	Диапазон частот, ГГц	Скорость передачи	Конфигурация системы	Излучаемая мощность, дБВт	$P_{пор}$, дБВт ($BER=10^{-3}$)	Диаметр антенны, м
1	2	3	4	5	6	7
ЭРИКОМ-8	8	16Е1	1+1; 2+0	-6	-114	1; 1,75
МИК –РЛ8	8	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	0	-118	0,4; 0,6; 1,0
МИК-РЛ11Р	11	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-10	-116	0,6; 1,0
МИК-РЛ15Р	15	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-10	-116	0,6; 1,0
РАДИУС-ДС	8	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-4	-123, -117, -111	1,2; 1,75
КОМПЛЕКС 5 М1	11	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-4	-111, -108, -100	1,5
РАДАН- МГ-480	11	8Е1; Е2; 16Е1; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-12 или -5	-118, -114	0,5; 1
РОДНИК-15-480	15	2Е1; Е2	1+0; 1+1; 2+0	-12 или -5	-118, -114	0,5; 1
РАДИУС-15М	15	Е1; Е2; Е3	1+0; 1+1; 2+0	-7	-123, -117, -111	0,6; 1,2

3 Рекомендации по выполнению курсового проекта

Курсовой проект должен содержать следующие разделы:

1 Введение

Приводится краткая информации о цифровых РРЛ, их достоинствах, современном состоянии и перспективах развития. Формулируется цель проекта.

2 Разработка структурной схемы проектируемой ЦРРЛ

Проектируемая РРЛ задается общей длиной и протяженностью одного пролета R_0 . Необходимо определить общее число пролетов на

ЦРРЛ путем несложных вычислений. Один из пролетов должен иметь заданную протяженность. Допускается укорочение длин отдельных пролетов. Далее составляется структурная схема ЦРРЛ с указанием общей длины и длин всех пролетов. Одна из промежуточных станций должна быть с выделением / вводом информации. Число выделяемых каналов (или цифровых потоков) указывается в исходных данных для проектирования.

3 Выбор радиотехнического оборудования (типа ЦРРС)

При выполнении данного раздела необходимо ориентироваться на технические параметры ЦРРС (таблицы 2.1 и 2.2), заданный объем информации, передаваемой по ЦРРЛ и полученные длины пролетов. В таблице необходимо привести основные параметры выбранного оборудования.

4 Разработка схемы организации связи на ЦРРЛ

Схема организации связи приводится как минимум для двух пролетов ЦРРЛ, с обязательным указанием оборудования ОРС и ПРС с выделением каналов. Схема организации связи снабжается краткими пояснениями. Приводятся параметры интерфейсов.

5 Расчет качественных показателей ЦРРЛ

По исходным данным вычерчивается профиль пролета и производится расчет устойчивости связи при одинарном приеме на этом пролете. Профили остальных пролетов считаются идентичными заданному. Определяется ожидаемый процент времени ухудшения качества связи для всей линии и производится его сравнение с нормируемой величиной.

В процессе расчета устойчивости связи на пролете необходимо произвести оптимизацию высот подвеса антенн. При необходимости применяется пространственное или частотное разнесение антенн и выполняются расчеты устойчивости связи при наличии резервирования. По результатам расчетов необходимо сделать выводы. Например, если норма на устойчивость связи не выполняется даже при наличии резервирования, приводится перечень мероприятий, способствующий выполнению этой нормы.

6 Расчет диаграммы уровней сигналов на пролете ЦРРЛ

Расчет производится для заданного пролета. Результаты расчетов сводятся в таблицу и оформляются в виде соответствующих графиков. Определяется запас на замирания и делаются соответствующие выводы.

7 Заключение

В заключении отмечается, что сделано в курсовом проекте и подводятся итоги проектирования.

8 Список литературы

4 Оформление курсового проекта

Титульный лист курсового проекта оформляется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к работам студентов дистанционной формы обучения в СибГУТИ.

В начале пояснительной записки помещается задание и оглавление. Рубрикация должна соответствовать пунктам задания. Все расчеты производят по формулам, которые записывают сначала в общем виде с указанием условных обозначений и размерностей, нумеруют по порядку и снабжают ссылками на источники. Список литературы приводится в конце проекта.

Иллюстрационный материал выполняется с соблюдением ГОСТ. Страницы, рисунки и таблицы должны быть пронумерованы.

5 Пример выполнения расчетной части курсового проекта

Исходные данные:

Тип аппаратуры – выбирается в процессе проектирования;

Число рабочих стволов – 1;

В оконечных и промежуточных пунктах установлены аналоговые АТС;

Количество организуемых каналов ТЧ: 120;

Количество выделяемых каналов ТЧ на ПРС: 20;

Длина ЦРРЛ – 100 км;

Длина пролета – 45 км;

Значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы: $-6 \cdot 10^{-8}$ 1/м;

Стандартное отклонение градиента: $6,5 \cdot 10^{-8}$ 1/м;
 Номер климатического района – 1;
 Высотные отметки точек профиля пролета приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1- Высотные отметки профиля пролета

Относительная координата $k_i = R_i / R_0$, высоты, м										
0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
80	69	70	74	79	76	66	63	76	89	90

5.1 Разработка структурной схемы ЦРРЛ

Определяем общее число пролетов на магистрали:

$$n_{\text{прол}} = \frac{L_{\text{маг}}}{L_{\text{прол}}}, \text{ где} \quad (5.1)$$

$L_{\text{маг}}$ – общая длина ЦРРЛ;
 $L_{\text{прол}}$ – длина пролета.

$$n_{\text{прол}} = \frac{100}{45} = 2,22$$

Принимаем следующие длины пролетов:

Первый пролет: $L_{1 \text{ прол}} = 45$ км;

Второй пролет: $L_{2 \text{ прол}} = 45$ км;

Третий пролет: $L_{3 \text{ прол}} = 10$ км.

Составляем структурную схему магистрали (рисунок 5.1)

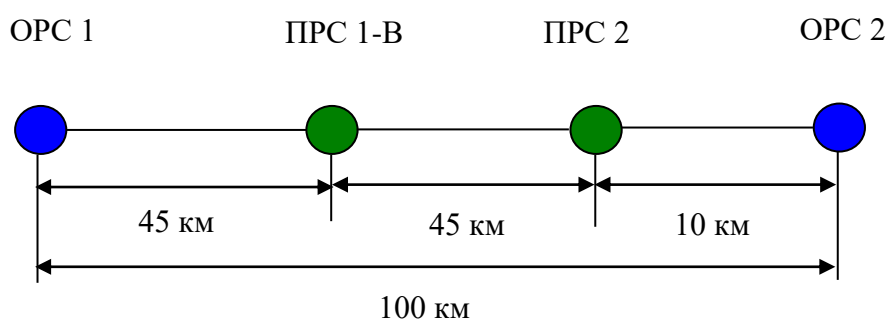


Рисунок 5.1- Структурная схема ЦРРЛ

Таким образом, проектируемая линия включает в себя две оконечные станции и две промежуточные. В соответствии с заданием на ПРС 1 необходимо выделить 20 телефонных каналов (ПРС 1-В). Количество пролетов на линии – 3. Оконечные станции обычно располагаются в населенных пунктах, промежуточные станции располагаются вдоль автомобильных или железных дорог для обеспечения удобного подъезда к станциям.

5.2 Выбор радиотехнического оборудования

Исходя из заданного объема передаваемой информации, длин пролетов и энергетических параметров оборудования по таблицам 1.1 и .2 выбираем для проектируемой ЦРРЛ аппаратуру «Звезда-11». Основные параметры аппаратуры приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2- Основные параметры ЦРРС «Звезда – 11»

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	Средняя длина волны	λ	м	0,027
2	Мощность передатчика	$P_{пд}$	дБВт	-11
3	Пороговый уровень сигнала	$P_{пор}$	дБВт	-121
4	Разнос частот между стволами	$\Delta f_{ств}$	МГц	5,0
5	Диаметр антенны	$d_{ант}$	м	1,0
6	Тип антенны	Параболическая типа АДЭ		

Примечание: Некоторые параметры аппаратуры изменены чисто в учебных целях.

5.3 Разработка схемы организации связи

Схема организации связи на проектируемой ЦРРЛ на участке ОРС 1 – ПРС 1- В приведена на рисунке 5.2.

120 каналов ТЧ от аналоговой АТС подаются на первичные мультиплексоры типа ENE 6012 (при проектировании может быть выбран и другой тип мультиплексора), на выходе которых формируются 4 цифровых потока Е1, которые при помощи вторичного мультиплексора типа ENE 6058 преобразуются в цифровой поток Е2, поступающий на

внутреннее оборудование IDU, где он подвергается операции преобразования кода, скремблирования и далее по соединительному кабелю цифровой сигнал поступает на оборудование наружного размещения ODU, где восстанавливается, преобразуется в код NRZ и поступает на фазовый модулятор ОФМ.

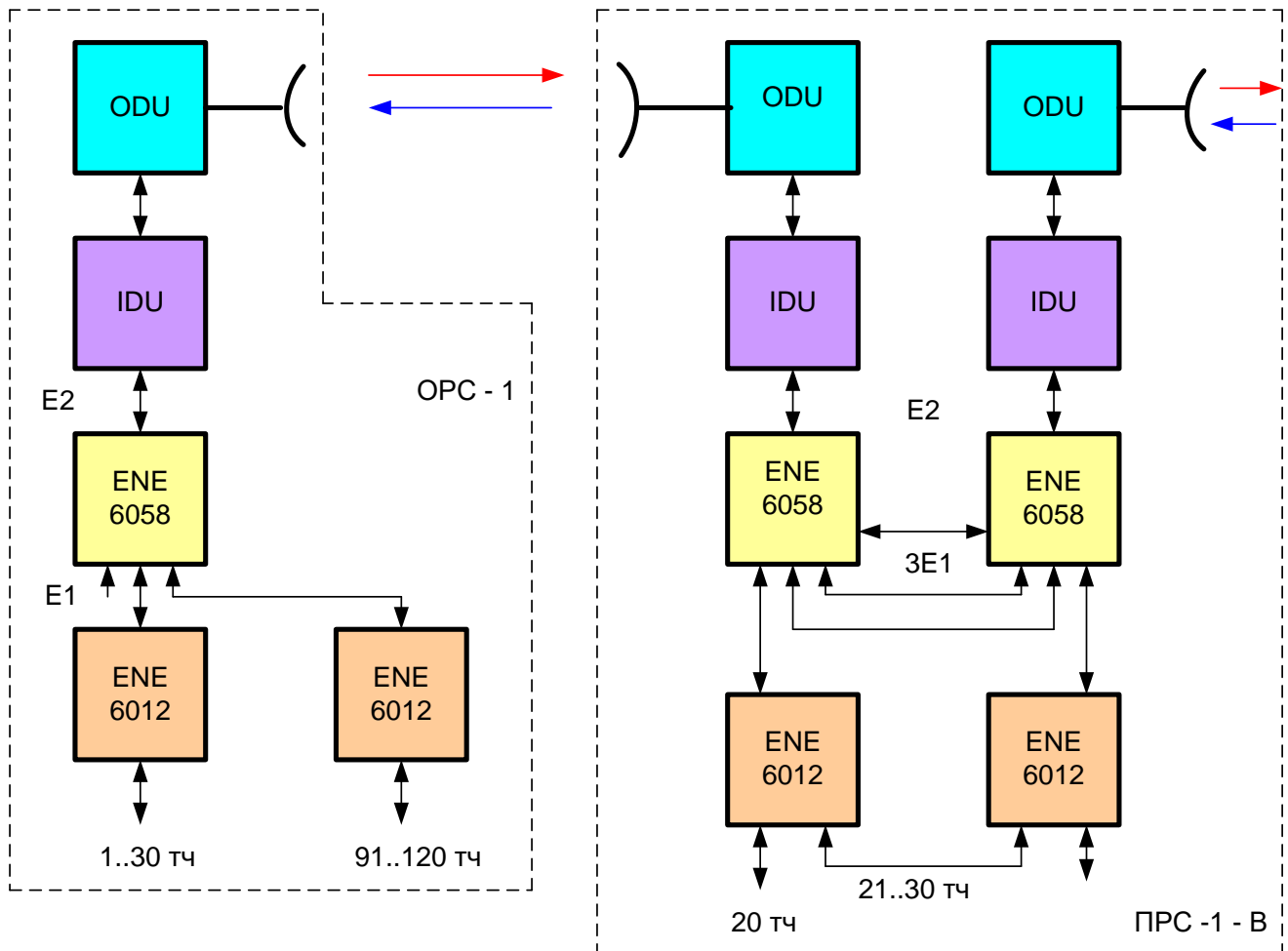


Рисунок 5.2 - Схема организации связи на участке OPC – 1 – ПРС 1 - В

В направлении приема производятся обратные операции. Для выделения 20-ти каналов тч на промежуточной станции устанавливаются вторичные и первичные мультиплексоры. Для трех потоков E1 организуется цифровой транзит. Из первого цифрового потока E1 выделяются 20 телефонных каналов. Для 10 телефонных каналов (с 21 по 30) организуется низкочастотный транзит. Ввод телефонных каналов на данной промежуточной станции не предусмотрен в соответствии с

заданием на проектирование. Схема организации связи на участках ПРС 1- В – ПРС 2 – ОРС 2 приведена на рисунке 5.3.

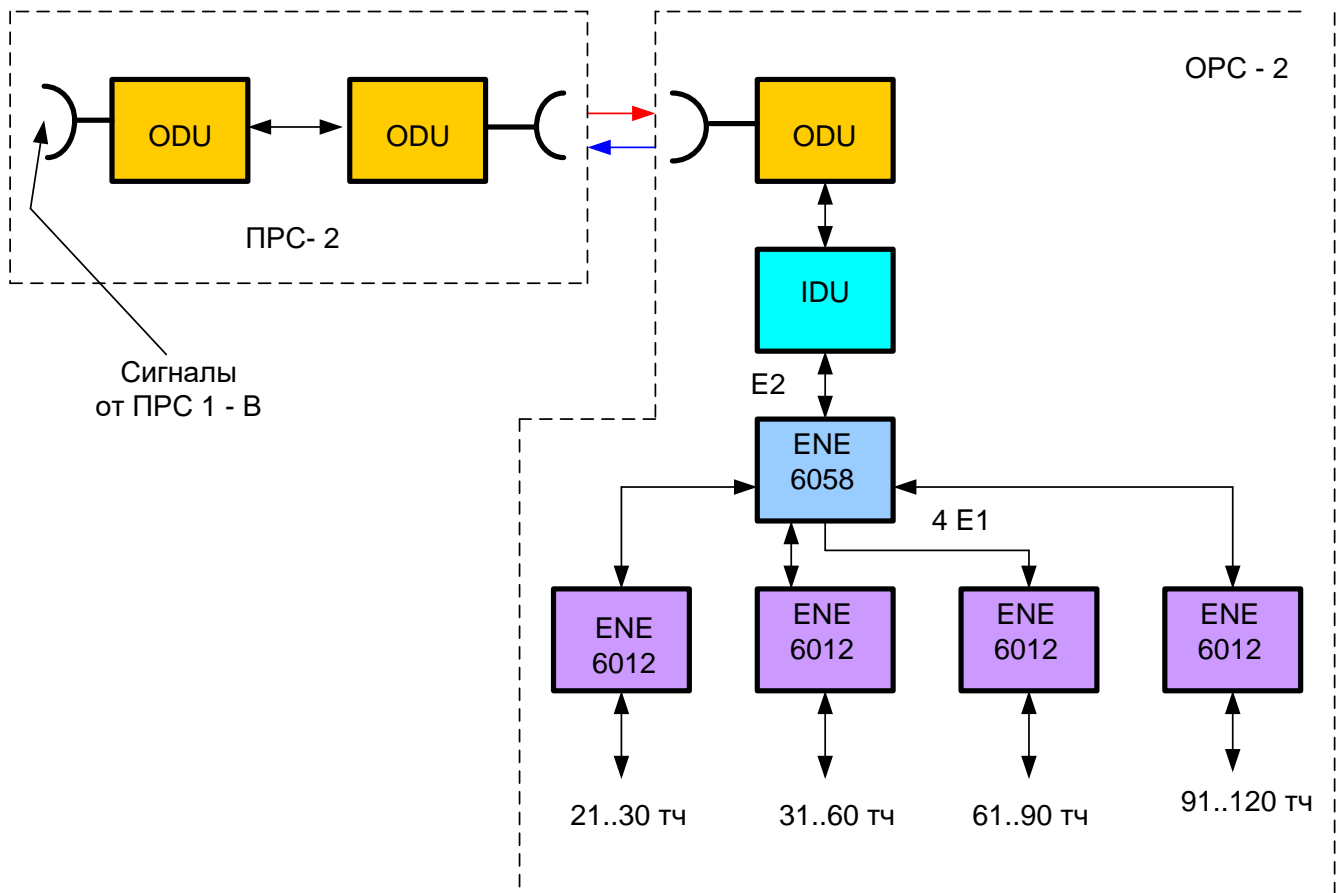


Рисунок 5.3 - Схема организации связи на участке ПРС 1 – В – ПРС 2 – ОРС 2

На промежуточной станции ПРС 2 производится активный пере прием радиосигналов. В данном варианте регенерация сигналов на этой станции не производится. При регенерации сигналов необходима установка оборудования IDU. На конечной станции ОРС 2 при помощи соответствующего мультиплексорного оборудования формируются аналоговые окончания телефонных каналов.

Если на конечных станциях (или промежуточных) имеются электронные АТС, то надобность в установке первичных мультиплексоров отпадает, так как электронные АТС работают с цифровыми потоками E1. Данное обстоятельство необходимо учитывать при выполнении курсового проекта.

5.4 Расчет устойчивости связи на ЦРРЛ

5.4.1 Построение профиля пролета

Расчеты производим для самого длинного пролета на ЦРРЛ. Рассчитываем условный нулевой уровень (УНУ) по формуле:

$$y_i(K_i) = \frac{R_0^2}{2R_3} \cdot K_i(1 - K_i), \quad (5.2)$$

где R_0 – длина пролета, км,

R_3 – геометрический радиус земли (6370 км),

K_i – текущая относительная координата заданной точки.

$$K_i = \frac{R_i}{R_0}$$

R_i – расстояние до текущей точки от левого конца пролета.

Для $K_i=0,5$ имеем:

$$y_i(K_i) = \frac{45^2}{2 \cdot 6370} \cdot 0,5(1 - 0,5) = 0,0397 \text{ км} = 39,7 \text{ м}.$$

Рассчитываем профиль интервала по формуле:

$$y = y_1 + y_2.$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 5.3. По результатам расчетов строим профиль пролета (ломаная линия на рисунке 5.4).

Таблица 5.3 - Результаты расчета профиля пролета

K_i	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
R_i , км	0.0	4.5	9	13,5	18	22.5	27	31.5	36	40.5	45
$y_i(K_i)$, м	0	14.3	25.4	33.4	38.1	39.7	38.1	33.4	25.4	14.3	0

$y_2(K_i),$ м	80	69	70	74	79	76	66	63	76	89	90
$y = y_i +$ y_2	80	83.3	95.4	107	117	115	104	96	101	103	90

5.4.2 Расчет величины геометрического просвета $H(0)$

Находим величину просвета без учета рефракции по формуле:

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}), \quad (5.3)$$

где H_0 - критический просвет, определяемый как :

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda K_{TP} (1 - K_{TP})}, \quad (5.4)$$

где R_0 - длина пролета,

λ - рабочая длина волны ($\lambda=0,027$ м),

K_{TP} - относительная координата наивысшей точки профиля пролета,

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,027 \cdot 0,4(1 - 0,4)} = 9,85 \text{ м.}$$

$\Delta H(\bar{g})$ - приращение просвета, обусловленное явлением рефракции:

$$\Delta H(\bar{g}) = -\frac{R_0^2}{4} \bar{g} K_{TP} (1 - K_{TP}) \quad (5.5)$$

где \bar{g} - среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы, 1/м ($\bar{g} = -6 \cdot 10^{-8}$ 1/м).

$$\Delta H(\bar{g}) = -\frac{(45 \cdot 10^3)^2}{4} \cdot (-6 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,4(1 - 0,4) = 7,3 \text{ м.}$$

$$H(0) = 9,85 - 7,3 = 2,55 \text{ м}$$

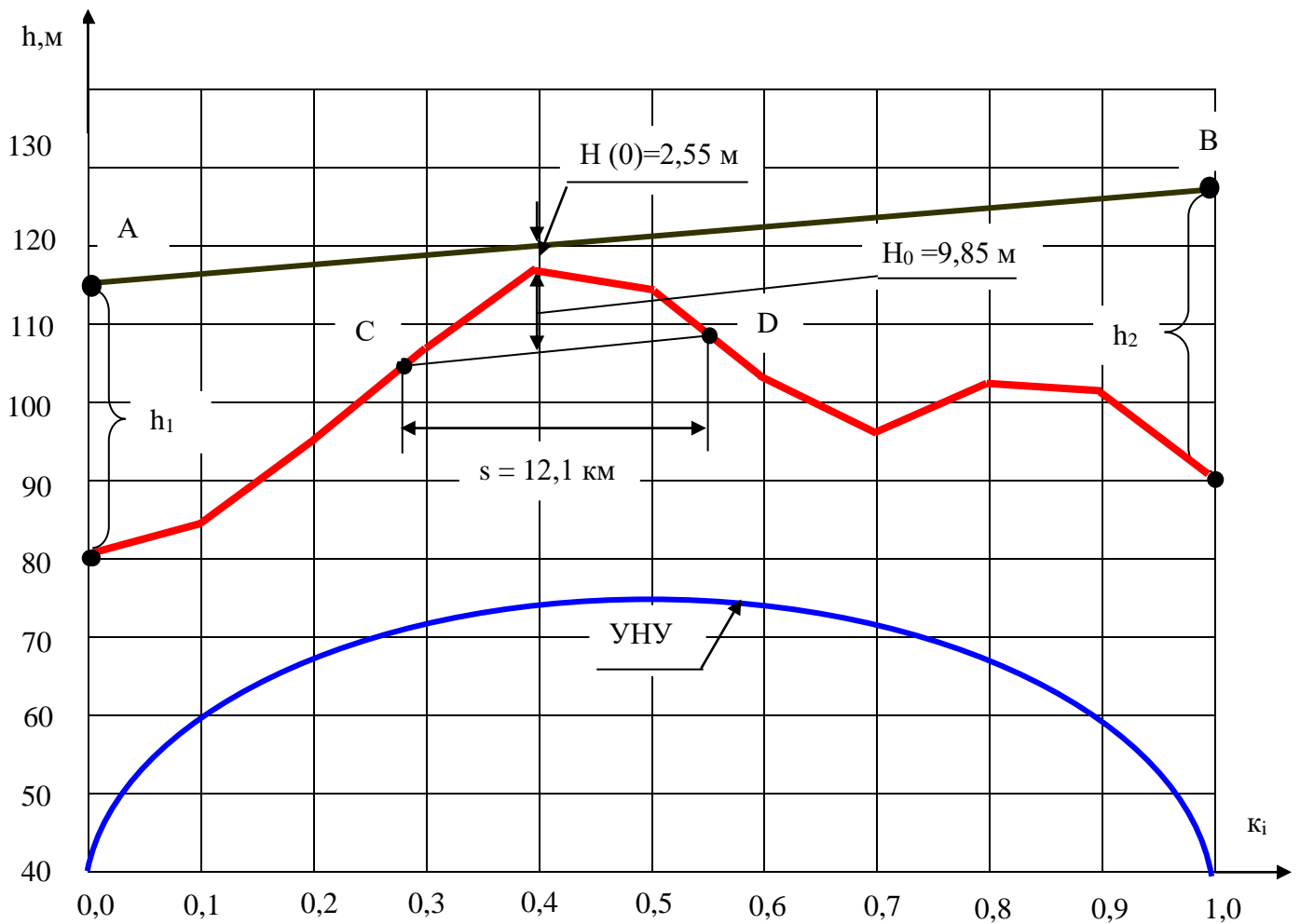


Рисунок 5.4- Профиль пролета

При вычерчивании профиля пролета для удобства построений начало отсчета высот размещено в точке 40 м. От наивысшей точки профиля вертикально вверх откладываем величину просвета без учета рефракции радиоволн $H(0)$. Через нижний конец этого отрезка проводим линию прямой видимости АВ. Вертикально вниз от наивысшей точки профиля откладываем отрезок, равный критическому просвету H_0 . Через нижний конец этого отрезка проводим линию CD, параллельную линии прямой видимости таким образом, чтобы высоты подвеса левой и правой антенн получились примерно одинаковыми (чисто из экономических соображений). По точкам пересечения этой линии с профилем пролета определяем величину параметра s , который характеризует протяженность препятствия на пролете. Находим, что высоты подвеса антенн равны 35 м и 38 м

5.4.3 Расчет минимально-допустимого множителя ослабления

Расчет $V_{\text{мин}}$ производится по формуле:

$$V_{\text{мин}} = P_{\text{пор}} - P_{\text{пд}} + A_{\text{св}} - G_{\text{пд}} - G_{\text{пр}} + a_{\text{прд}} + a_{\text{прм}}, \quad \text{дБ} \quad (5.6)$$

где $P_{\text{пор}}$ - пороговая мощность сигнала на входе приемника, дБВт;

$P_{\text{пд}}$ - мощность сигнала на выходе передатчика, дБВт;

$A_{\text{св}}$ - затухание сигнала в свободном пространстве, дБ:

$$A_{\text{св}} = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right).$$

$$A_{\text{св}} = 20 \lg \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 45 \cdot 10^3}{0,027} \right) = 146,4 \text{ дБ}.$$

$G_{\text{пд}}, G_{\text{пр}}$ - коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, дБ.

Величина G рассчитывается по формуле

$$G = K_1 \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

где S - площадь раскрыва антенны: $S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,785 \text{ м}^2$.

K_1 - коэффициент использования поверхности раскрыва (апертуры) антенны.

В расчетах принимаем $K_1 = 0,6$.

$$G = 0,6 \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,785}{0,027^2} = 8114,9$$

$$G = 10 \lg 8114,9 = 39 \text{ дБ}.$$

Суммарную величину потерь в антенно-фидерном тракте принимаем равной 1 дБ

$$V_{\text{мин}} = -121 + 11 + 146,4 - 39 - 39 + 1 = -40,6 \text{ дБ}.$$

5.4.4 Расчет устойчивости связи на пролете при одинарном приеме $T_{пр}(V_{мин})$

В общем случае:

$$T_{пр}(V_{мин}) = T_0(V_{мин}) + \sum_n T_n(V_{мин}) + T_{тр}(V_{мин}) + T_d(V_{мин}), \quad (5.7)$$

где $T_0(V_{мин})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет экранирующего действия препятствий на пролете РРЛ,

$\sum_n T_n(V_{мин})$ - процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет интерференции прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности,

$T_{тр}(V_{мин})$ - процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет интерференции прямой волны и волн, отраженных от неоднородностей тропосферы,

$T_d(V_{мин})$ - процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет деполяризационных явлений в осадках.

5.4.4.1 Расчет $T_0(V_{мин})$

Находим параметр ψ :

$$\Psi = 2,31A[P(\bar{g}) - P(g_0)],$$

где
$$A = 1/\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 \cdot K(1-K)}}$$

$\sigma = 6,5 \cdot 10^{-8} 1/м$ - стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости для климатического района № 1;

$\lambda_{cp} = 0,027 м$ - средняя длина волны;

$R_0 = 45 км = 40 \cdot 10^3 м$ - протяженность пролета;

$K = 0,4$ - из профиля пролета (рисунок 5.4).

$$A = \frac{1}{6,5 \cdot 10^{-8}} \sqrt{\frac{0,027}{(45 \cdot 10^3)^3 \cdot 0,4 \cdot (1-0,4)}} = 0,54$$

$P(\bar{g})$ - относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется по формуле:

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) + \Delta H(\bar{g})}{H_0} = \frac{2,55 + 7,3}{9,85} = 1.$$

$P(g_0)$ – относительный просвет, при котором $V = V_{\text{мин}}$. Определяем по графику рисунка 1.3 в зависимости от параметра μ :

$$\mu = 2,023 \sqrt{\frac{K^2(1-K)^2}{l^2}},$$

где $l = s/R$ – нормированная величина s (см. рисунок 5.4).

$$\mu = 2,023 \sqrt{\frac{0,4^2(1-0,4)^2}{0,26^2}} = 1,96.$$

При $V_{\text{мин}} = -40,6$ дБ и $\mu = 1,96$ определяем, что $p(g_0) = -3,6$.
Таким образом,

$$\Psi = 2,31 \cdot 0,54 (1 + 3,6) = 5,73.$$

По графику на рисунке 1.2 определяем, что $T_0(V_{\text{мин}}) = 1 \cdot 10^{-5}\%$.

5.4.4.2 Расчет составляющей, обусловленной интерференцией прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности $\sum_n T_n(V_{\text{мин}})$

Вероятность того, что множитель ослабления будет меньше $V_{\text{мин}}$ за счет интерференции прямой и отраженных от земной поверхности волн, определяем по формуле:

$$\sum T_n = f \left[p(\bar{g}); A \right] \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{мин}}^2 - (1 - \Phi)^2}{\Phi}} \cdot 100\%, \quad (5.8)$$

где $f \left[p(\bar{g}); A \right]$ определяем по графику 3.3;

$\Phi = 1$ – согласно исходным данным;

$$V_{\text{мин}} = 0,8 \cdot 10^{-2};$$

При $p(\bar{g}) = 1$ и $A = 0,54$ определяем: $f\left[p(\bar{g}); A\right] = 0,048$.

Вычисляем:

$$\sum T_n = 0,048 \cdot \sqrt{\frac{(0,8 \cdot 10^{-2})^2 - (1-1)^2}{1}} = 0,038\%.$$

5.4.4.3 Расчет замираний, обусловленных интерференцией прямой волны и волн, отраженных от неоднородностей тропосферы $T_{TR}(V_{мин})$

Вероятность того, что множитель ослабления будет меньше $V_{мин}$ за счет интерференции прямой и отраженной от тропосферы волны, определяем по формуле:

$$T_{TR}(V_{мин}) = V_{мин}^2 \cdot T(\Delta\varepsilon), \quad (5.9)$$

где $T(\Delta\varepsilon)$ – параметр, учитывающий вероятность возникновения многолучевых замираний, обусловленных отражениями радиоволн от слоистых неоднородностей тропосферы с перепадом диэлектрической проницаемости воздуха ($\Delta\varepsilon$).

$$T(\Delta\varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot Q \cdot R_0^2 \sqrt{f_0^3} \%, \quad (5.10)$$

где Q – климатический коэффициент.

В расчетах полагаем $Q = 1$.

R_0 – длина пролета, в км,

f – рабочая частота, в ГГц.

Получим:

$$T(\Delta\varepsilon) = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 45^2 \cdot \sqrt{11^3} = 30,28\%.$$

$$T_{TR}(V_{мин}) = (0,8 \cdot 10^{-2}) \cdot 30,28 = 0,00193\%.$$

5.4.4.4 Расчет замираний, обусловленных потерями энергии в осадках $T_\partial(V_{мин})$

По рисунку 1.1 определим минимально-допустимую интенсивность дождей $I_{доп}$ от величины $V_{мин}$:

$$I_{\text{доп}}(V_{\text{мин}}) = 165 \text{ мм/час.}$$

По рисунку 1.2 в зависимости от значения $I_{\text{доп}}$ определим $T_{\text{д}}(V_{\text{мин}}) = 0,0003\%$.

Таким образом, суммарный процент времени замираний на пролете равен:

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) = 1 \cdot 10^{-5} + 0,038 + 0,00193 + 0,0003 = 0,04\%.$$

5.4.4.5 Расчет замираний для всей ЦРРЛ $T_{\text{ож}}(V_{\text{мин}})$

Расчет производим по формуле:

$$T_{\text{ож}}(V_{\text{мин}}) = \sum_1^n T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}), \quad (5.11)$$

где n – число пролетов на линии.

$$T_{\text{ож}}(V_{\text{мин}}) = 3 \cdot 0,04 = 0,12\%.$$

Полученное значение превышает допустимую величину замираний (таблица 5.4) $T_{\text{доп}}(V_{\text{мин}}) = 0,01\%$.

Таблица 5.4

Участок ВСС РФ	Длина эталонной ЦРРЛ (L), км	$T_{\text{доп}}(V_{\text{мин}}), \%$	Распределение $T_{\text{доп}}(V_{\text{мин}})$ для реальных линий
Международный участок	12500	0,06	Пропорционально длине
Магистральная сеть	2500	0,012	Пропорционально длине
Внутрizonовая сеть	600	0,012	Независимо от длины
	200	0,01	
Местная сеть	100	0,01	Независимо от длины
	50	0,01	

Для повышения устойчивости связи на ЦРРЛ применяется пространственное разнесение антенн.

5.4.4.6 Расчет устойчивости связи при наличии резервирования

Данный расчет необходимо выполнить независимо от результатов расчета по п.п. 5.4.4.5.

В случае пространственного разнесения антенн (разнос по высоте) неустойчивость связи на всей линии определяется как сумма неустойчивости связи на отдельных пролетах:

$$\begin{aligned} T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) &= T_0(V_{\text{мин}}) + [\sum T_n(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}})]_n \times [\sum T_0(V_{\text{мин}}) + T_{\text{тр}}(V_{\text{мин}})]_в + \\ &+ T_d(V_{\text{мин}}), \% \\ T_{\text{лин}}(V_{\text{мин}}) &= \sum T_{\text{пр}}(V_{\text{мин}}) \end{aligned} \quad (5.12)$$

Индексы «н» и «в» относятся соответственно к нижней и верхней антеннам.

Полученный результат необходимо проанализировать и сделать соответствующие выводы.

В том случае, если и при наличии резервирования не выполняются нормы на устойчивость связи, необходимо привести перечень возможных мероприятий, направленных на повышение устойчивости связи.

5.4.4.7 Методика расчета устойчивости связи для случая «вогнутого пролета»

Рассмотренная выше методика расчета устойчивости связи справедлива для случаев, когда профиль пролета имеет «выпуклый» характер.

Для случая «вогнутых» пролетов (например, когда РРС расположены на естественных возвышенностях) (рисунок 5.5), методика расчета несколько иная.

В данном случае необходимо задаться высотами подвеса антенн, равными 10 – 15 метров и провести линию прямой видимости АВ.

При выполнении расчетов необходимо учесть, что составляющая неустойчивости связи $T_0(V_{\text{мин}})$ заведомо равна нулю и не рассчитывается.

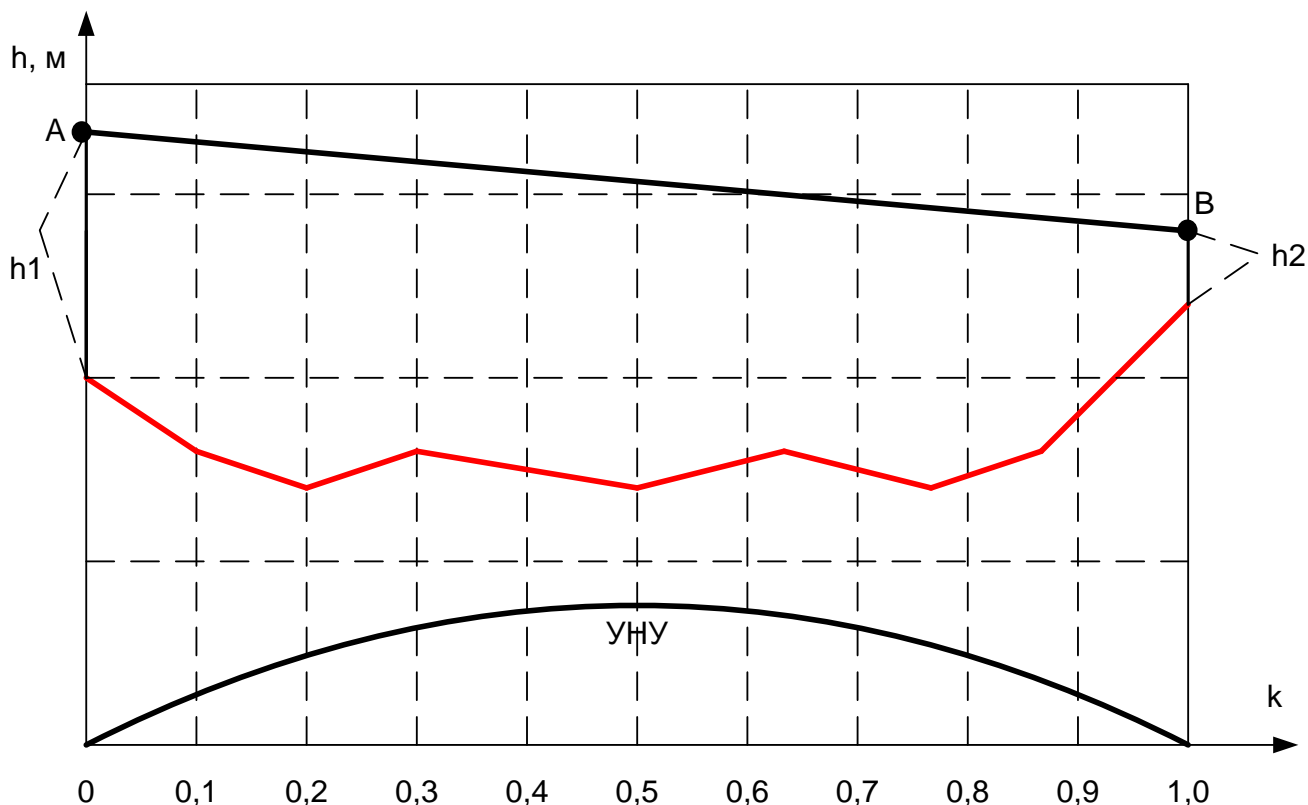


Рисунок 5.5 – «Вогнутый» профиль пролета

5.4.4.8 Оптимизация высот подвеса антенн

Целью данного расчета является определение высот подвеса антенн, при которых обеспечивается максимальная устойчивость связи на пролетах ЦРРЛ при отсутствии резервирования. Данный раздел является обязательным при выполнении курсового проекта.

Как следует из проведенных расчетов, основной вклад в замирания вносят замирания, обусловленные интерференцией прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности. При этом замирания, обусловленные экранирующим действием препятствий, минимальны. Очевидно, что необходимо произвести оптимизацию высот подвеса антенн, уменьшая геометрический просвет на пролете.

Согласно проведенному выше расчету первоначальное значение просвета $H(0) = 2,55$ м. Уменьшая значения этого просвета необходимо повторить вычисления составляющих $T_0(V_{\text{мин}})$ и $T_n(V_{\text{мин}})$. Составляющие $T_{\text{ТР}}(V_{\text{мин}})$ и $T_{\text{д}}(V_{\text{мин}})$ при этом не пересчитываются, так как они практически не зависят от высот подвеса антенн.

Результаты расчетов приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5- Результаты оптимизации высот подвеса антенн

Параметр / Величина Н(0), м	Н(0)=-2,45	Н(0)=2,55	Н(0)=-7,45
$P(\bar{g})$, ед	0,49	1	-0,025
h_1 , м	30	35	25
h_2 , м	33	38	28
$V_{\text{МИН}}$, дБ	-40,6	-40,6	-40,6
$P(g_0)$, ед	-3,18	-3,18	-3,18
ψ	4,57	5,73	3,9
$T_0(V_{\text{МИН}})$, %	$2 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
$f [P(\bar{g})]$, А	0,02	0,048	0,0
$\sum_n T_n (V_{\text{МИН}})$, %	$158 \cdot 10^{-4}$	$380 \cdot 10^{-4}$	0,0
$T (\Delta \epsilon)$	30,28	30,28	30,28
$T_{\text{ТР}} (V_{\text{МИН}})$, %	0,00193	0,00193	0,00193
$I_{\text{доп}}$, мм/час	165	165	165
$T_{\text{Д}} (V_{\text{МИН}})$, %	0,0003	0,0003	0,0003
$T_{\text{пр}} (V_{\text{МИН}})$, %	0,018	0,04	0,003
$T_{\text{ож}} (V_{\text{МИН}})$, %	0,054	0,12	0,009

Для более точного определения оптимального просвета (оптимальных высот подвеса антенн) построим графические зависимости $T_0(V_{\text{МИН}})$ и $\sum T_n (V_{\text{МИН}})$, приведенные на рисунке 5.6.

Точка пересечения этих кривых соответствует оптимальному просвету $H_{\text{опт}}(0) = -6,45$ м. Анализируя данные таблицы 5.5, приходим к выводу, что при просвете, равном минус 7,45 м норма на устойчивость всей линии выполняется, так как $T_{\text{ож}}(V_{\text{МИН}})$, равное 0,009 %, меньше нормируемой величины для проектируемой ЦРРЛ (0,01 %).

С целью уточнения результатов повторим расчеты для оптимального просвета, равного минус 6,45 м. После вычислений получим окончательно: $T_0(V_{\text{МИН}}) = 0,0005$ %, $\sum T_n(V_{\text{МИН}}) = 0,0001$ %. Таким образом, $T_{\text{пр}}(V_{\text{МИН}}) = 0,0028$ %

$$T_{\text{ож}}(V_{\text{МИН}}) = 0,0084 \% < 0,01 \%$$

Оптимальные высоты подвеса антенн равны 24 и 27 м.

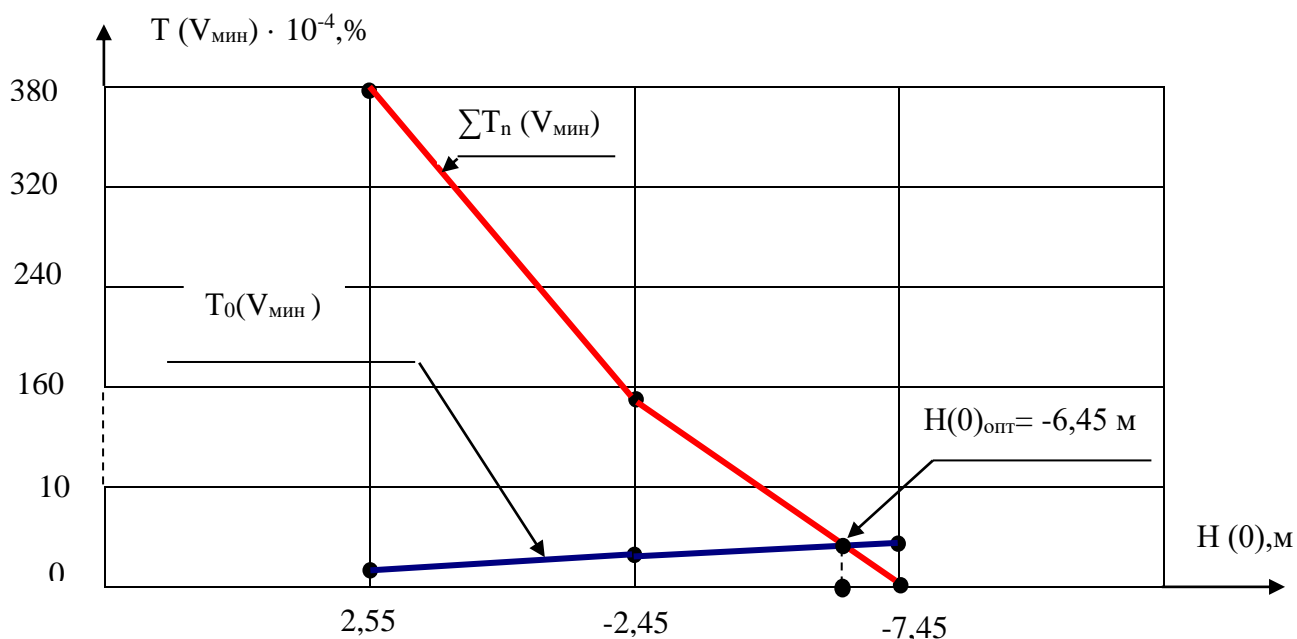


Рисунок 5.6 - Оптимизация высот подвеса антенн

Точность определения величины оптимального просвета может быть повышена за счет уменьшения изменения величины просвета и увеличения количества расчетных точек.

5.4.4.9 Расчет диаграммы уровней на пролете ЦРРЛ

При проектировании ЦРРЛ рассчитывают средние мощности сигнала на входах приемников всех пролетов линии (точнее мощности при среднем значении градиента g). Средние значения уровней сигналов рассчитываются (и сравниваются с измеренными значениями) для оценки качества настройки аппаратуры и антенно-волноводного тракта; для проверки правильности построения профилей пролетов; для оценки точности юстировки антенн; для определения и поддержания в заданных пределах при эксплуатации ЦРРЛ энергетического запаса аппаратуры на замирания сигнала, определяемого как:

$$V_z = P_{\text{ср}} - P_{\text{пор}}, \quad (5.13)$$

где: $P_{\text{ср}}$ – средний уровень сигнала, дБВт,
 $P_{\text{пор}}$ – пороговый уровень сигнала, дБВт

Средняя мощность сигнала на входе приемника :

$$P_{\text{ср}} = P_0 V_{\text{ср}}^2,$$

где: P_0 – мощность сигнала на входе приемника для случая свободного пространства, определяемая как:

$$P_0, \text{ дБВт} = P_{\text{пд}} + G_{\text{пд}} + G_{\text{пр}} - A_{\text{св}} - a_{\text{прд}} - a_{\text{прм}} \quad (5.14)$$

где: $A_{\text{св}}$ – затухание радиоволн в свободном пространстве:

$$A_{\text{св}} = (4\pi R/\lambda)^2$$

$a_{\text{прд}}$ и $a_{\text{прм}}$ -потери энергии в антенно-волноводных трактах,
 $P_{\text{пд}}$ –уровень мощности сигнала на выходе передатчика,
 $G_{\text{пд}}$ и $G_{\text{пр}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн,
 $V_{\text{ср}}$ – значение множителя ослабления при среднем значении градиента диэлектрической проницаемости тропосферы.

Величина $V_{\text{ср}}$ находится в зависимости от относительного просвета при среднем значении градиента по графикам рисунка 1.3 в зависимости от параметра μ :

$$\rho(g) = [H(0) + \Delta H(g)] / H_0 \quad (5.15)$$

Определим $\rho(g)$ для оптимальных высот подвеса антенн, найденных в п.п.5.4.4.8:

$$\rho(g)_{\text{опт}} = [-6,45 + 7,3] / 9,85 = 0,086$$

Для полученного значения $\rho(g)$ по графику рисунка 1.3 и для $\mu = 1.96$ находим

$$V_{\text{ср}}, \text{ дБ} = -10 \text{ дБ}$$

В курсовом проекте необходимо рассчитать диаграмму уровней для одного (самого длинного) пролета. Результаты расчета приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.5 – Расчет диаграммы уровней

$\rho (g) = 1,0 ; V_{ср} = 0,0 \text{ дБ (свободное пространство)}$						
$P_{прд},$ дБ	$P_{вх.ант.прд.},$ дБ	$P_{вых.ант..прд},$ дБ	$P_{вх.ант.пр}$ дБ	$P_{вых.ант.пр.},$ дБ	$P_{ср.},$ дБ	$V_z,$ дБ
-11	- 11,5	27,5	- 118,9	- 79,9	- 80,4	40,6
$\rho (g)_{опт} = 0,086; V_{ср} = - 10 \text{ дБ}$						
- 11	- 11,5	27,5	- 128,9	- 89,9	- 90,4	30,6
$V = V_{мин} = - 40,6 \text{ дБ}$						
- 11	- 11,5	27,5	- 159,5	- 120,5	- 121	$P_{пр} = P_{пор}$

По результатам расчета построена диаграмма уровней (рисунок 5.7).

Как следует из рисунка 5.7, требуемый запас на замирания равен 30,6 дБ, что не превышает величину предельно реализуемого запаса на замирания , равного 40,6 дБ. Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальный просвет на пролете выбран правильно.

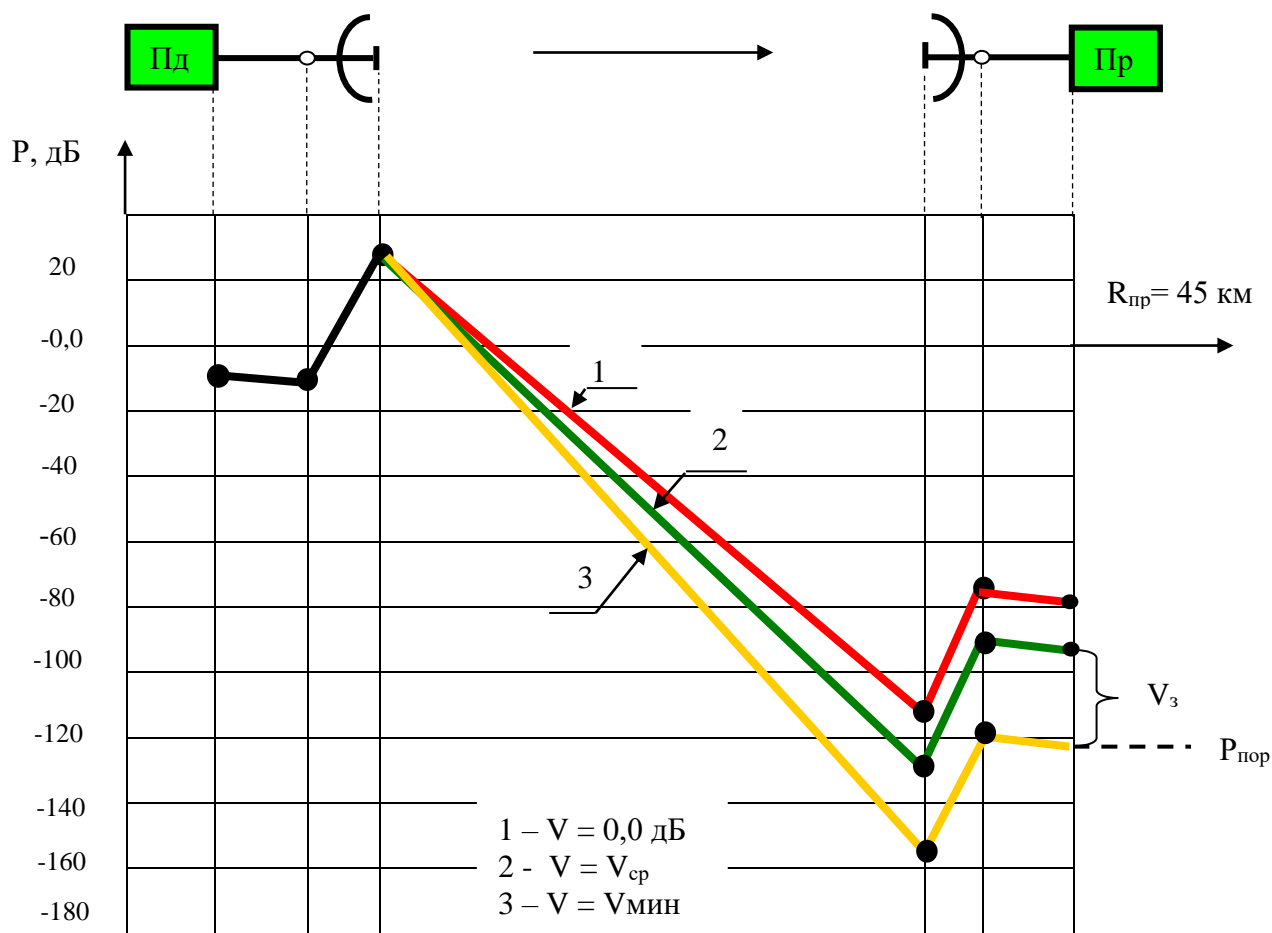


Рисунок 5.7 – Диаграмма уровней сигнала на пролете ОРС1 – ПРС 1- В

Заключение .

Необходимо подвести итоги проделанной работы.

Список литературы

1. Маглицкий Б.Н. Космические и наземные системы радиосвязи [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б. Н. Маглицкий ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Новосибирск : СибГУТИ, 2014. - 297 с. : ил. - Библиогр.: с. 295-296. - Электрон. версия печ. публикации . - Режим доступа: http://elib.sibsutis.ru/elib/2017/746_Maglitskij_B.N._Kosmicheskie_i_nazemnye_.pdf, по паролю.
2. Маглицкий Б.Н. Космические и наземные системы радиосвязи [Электронный ресурс] : метод. указания к выполнению курс. проектов / Б. Н. Маглицкий, А. С. Сергеева ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Новосибирск : СибГУТИ, 2015. - 91 с. : ил. - Библиогр. - Режим доступа:

http://elib.sibsutis.ru/elib/2015/577_Maglitskij_B.N._Kosmicheskie_i_nazemnye_sistemy_radiosvjazi_.pdf, по паролю.

3. Маглицкий Б.Н. Расчет качественных показателей цифровых радиорелейных линий [Электронный ресурс] : практикум по диплом. проектированию / Б. Н. Маглицкий ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Новосибирск : СибГУТИ, 2009. - 62 с. - Режим доступа: <http://elib.sibsutis.ru/elib/2009/new/283>

Maglitsky_Raschet_cifrovyh_radiorel_linii.rar, по паролю.