

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО
Уфимский государственный авиационный технический университет

Факультет авиационного приборостроения
Кафедра телекоммуникационных систем

Проектирование радиорелейной системы передачи

Пояснительная записка
к курсовому проекту
по дисциплине «Спутниковые и радиорелейные системы передачи»

4072.403000.000 ПЗ

Выполнил:
студент группы МКС-415,
Абзалов А. В.
Проверил:
преподаватель Киселёв А.Е.

Уфа–2008

Задание на курсовой проект

Содержание

1. Введение.....	4
2. Структурная схема РРЛ как часть гипотетической эталонной цепи (ВСС).....	7
3. Нормирование качественных показателей стволов РРЛ.....	8
4. Планы распределения частот.....	11
5. Построение профиля пролёта и определение высот подвеса антенн	13
6. Расчёт потерь, вносимых антенно-волноводным трактом.....	16
7. Расчёт минимально допустимых множителей ослабления рабочих стволов.....	18
8. Проверочный расчёт устойчивости связи на РРЛ.....	21
9. Расчёт диаграмм уровней сигнала на пролете.....	26
10. Заключение.....	28
Список использованной литературы.....	29
Приложение А. Профиль пролёта АРРЛ и ЦРРЛ.....	30

					4072.403000.000 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Абзалов А.В.			Лит .	Лист	Лист ов
Провер.		Киселёв А.Е.			3	29	
Реценз.					УГАТУ, ФАП, МКС-415		
Н. Конт р.		Зуев О.О.					
Ут верд.		Султанов А.Х.					
					Проектирование радиорелейной системы передачи Пояснительная записка		

1. Введение

1.1. Основные технические данные аппаратуры отечественной аналоговой РРЛ (АРРЛ) Электроника-Связь-6:

диапазон частот: 5,67–6,17 ГГц;

средняя длина волны: 5,07 см;

система резервирования: посекционная 3+1;

мощность передатчика: 3 Вт (4,8 дБВт);

коэффициент шума: 2,8 ед (4,5 дБ);

ширина полосы пропускания приёмника: 40 МГц;

число каналов ТЧ: 1920 шт;

верхняя частота линейного спектра: 8524 кГц;

эффективная девиация частоты на канал: 140 кГц;

уровень включения ЗГ: 25 пВт (–106 дБВт);

коэффициент системы полный: ТФ – 140,3 дБ, ТВ – 158,7 дБ.

1.2. Основные технические данные аппаратуры отечественной цифровой РРЛ (ЦРРЛ) Ракита-8М:

диапазон частот: 7,9–8,4 ГГц;

мощность передатчика: 0,5 Вт (–3 дБВт);

число ТФ каналов: 480 шт;

метод модуляции: 4-ОФМ;

скорость передачи ЦС по стволу: 34,368 Мбит/с;

мощность сигнала пороговая при $P_{\text{ош}}=10^{-3}$: –110 дБВт.

1.3. Определение параметров АРРЛ:

Длину волны (в сантиметрах) можно приближённо считать равной

$$\lambda_{\text{см}} = \frac{30}{f_{\text{ГГц}}}, \quad (1.1)$$

если $f_{\text{ГГц}}$ дана в ГГц. Тогда максимальное и минимальное значения длины волны λ_{max} и λ_{min} равны:

					4072.403000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а		19

$$\lambda_{\text{см max}} = \frac{30}{f_{\text{ГГц min}}} = \frac{30}{5,67} = 5,29 \text{ см};$$

$$\lambda_{\text{см min}} = \frac{30}{f_{\text{ГГц max}}} = \frac{30}{6,17} = 4,86 \text{ см}.$$

Полоса пропускания ТФ-ствола АРРЛ:

$$\text{ПП}^{\text{ТФ}} = 2 \cdot (F_{\text{в}} + \Delta f_{\text{п}}(0,1\%)) = 2 \cdot (8524 + 4600,22) = 26248,44 \text{ кГц},$$

где $F_{\text{в}} = 8524 \text{ кГц}$ – верхняя частота линейного спектра;

$\Delta f_{\text{п}}(0,1\%)$ – квазипиковая девиация частоты (максимальное отклонение частоты под действием модулирующего сигнала, соответствующее квазипиковой мощности группового сигнала $P_{\text{п}}(0,1\%)$, превышаемой в течение 0,1% времени), определяется по формуле:

$$\Delta f_{\text{п}}(0,1\%) = \Delta f_{\text{к}} \cdot 10^{0,05(P_{\text{ср}} + \chi(0,1\%) + 10 \cdot \lg N)} = 140 \cdot 10^{0,05(-13 + 10,5 + 10 \cdot \lg 1920)} = 4600,22 \text{ кГц},$$

где $\Delta f_{\text{к}} = 140 \text{ кГц}$ – эффективная девиация частоты на канал (девиация частоты на входе модулятора, соответствующая измерительному сигналу мощностью 1 мВт на входе любого канала ТЧ);

$P_{\text{ср}} = -13 \text{ дБм}$ – средняя мощность одного канала по нормам ВСС для систем с $N > 240$;

$\chi(0,1\%) = 10,5 \text{ дБ}$ – пик-фактор группового сигнала для систем с $N > 240$;

$N = 1920 \text{ шт}$ – число каналов ТЧ.

Полоса пропускания ТВ-ствола АРРЛ:

$$\text{ПП}^{\text{ТВ}} = 2 \cdot (F_{\text{в}} + \Delta f_{\text{ТВ}}) = 2 \cdot (6 + 4) = 20 \text{ МГц},$$

где $F_{\text{в}} = 6 \text{ МГц}$ – верхняя частота линейного спектра ТВ-сигнала;

$\Delta f_{\text{ТВ}} = 4 \text{ МГц}$ – девиация частоты ТВ-сигнала.

Эффективная шумовая температура приёмника АРРЛ:

$$T_{\text{пш}} = (n_{\text{ш}} - 1) \cdot T_0 = (2,8 - 1) \cdot 293 = 527,4 \text{ К},$$

где $n_{\text{ш}} = 2,8 \text{ ед}$ – коэффициент шума;

$T_0 = 293 \text{ К}$ – эффективная шумовая температура источника.

1.4. Определение параметров ЦРРЛ:

Максимальное и минимальное значения длины волны λ_{\max} и λ_{\min} для ЦРРЛ также определяются по формуле 1.1:

$$\lambda_{\text{см max}} = \frac{30}{f_{\text{ГГц min}}} = \frac{30}{7,9} = 3,8 \text{ см};$$

$$\lambda_{\text{см min}} = \frac{30}{f_{\text{ГГц max}}} = \frac{30}{8,4} = 3,57 \text{ см}.$$

Коэффициент системы $K_c^{\text{ц}}$ ЦРРЛ:

$$K_c^{\text{ц}} = P_{\text{пд}} - P_{\text{с пор}} = -3 - (-110) = 107 \text{ дБВт},$$

где $P_{\text{пд}} = -3$ дБВт – мощность передатчика;

$P_{\text{с пор}} = -110$ дБВт – пороговая мощность сигнала, при которой соблюдается вероятность ошибки $P_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$.

Полоса пропускания ЦРРЛ:

$$\text{ПП}^{\text{ц}} = \frac{1,2 \cdot B}{\log_2 M} = \frac{1,2 \cdot 34,368}{\log_2 4} = 20,6208 \text{ МГц},$$

где $B = 34,368$ Мбит/с – скорость передачи цифрового сигнала по стволу;

$M = 4$ – количество уровней модуляции для 4-ОФМ.

2. Структурная схема РРЛ как часть гипотетической эталонной цепи (ВСС)

Число секций (участков) на РРЛ равно (значение n округляется до большего целого):

$$n = \left[\frac{L}{l_c} \right]_{\text{БЦ}} = \left[\frac{1400}{250} \right]_{\text{БЦ}} = [5,6]_{\text{БЦ}} = 6 \text{ шт.},$$

где $L=1400$ км – протяжённость РРЛ;

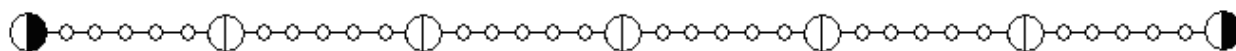
l_c – протяжённость секции (для магистральной РРЛ, ВСС $l_c=250$ км).

Число интервалов (пролётов) в каждой секции магистральной РРЛ $m_c=6$.

Общее количество интервалов (пролётов) РРЛ:

$$m = m_c \cdot n = 6 \cdot 6 = 36.$$

Структурная схема РРЛ как часть гипотетической эталонной цепи представлена на рисунке 2.1. Число станций: конечных – 2; узловых – 5; промежуточных – 30; всего на РРЛ – 37.



Условные обозначения: \circ – ПРС, \bigcirc – УРС, \bullet – ОПС

Рисунок 2.1. Структурная схема РРЛ как часть гипотетической эталонной цепи

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4072.403000.000 ПЗ

Лист

19

3. Нормирование качественных показателей стволов РРЛ

3.1. Нормы на шумы в канале ТЧ аналоговой РРЛ

В любом телефонном канале гипотетической эталонной цепи протяженностью 2500 км должны выполняться нормы на допустимую мощность шума, приведённые в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Нормы на шумы в канале ТЧ магистральной аналоговой РРЛ

Эталонная протяжённость РРЛ, L, км	Нормируемый показатель	Значение нормируемого показателя
2500	Среднеминутная психофотметрическая* мощность шума, которая может превышать не более чем в 20% времени любого месяца: $P_{ш\ 20\%}$, пВт	10000
	Среднеминутная психофотметрическая мощность шума, которая может превышать не более чем в 0,1% времени любого месяца: $P_{ш\ 0,1\%}$, пВт	50000
	Средняя за 5 мс невзвешенная мощность шума, которая может превышать не более чем в 0,01% времени любого месяца: $P_{ш\ 0,01\%}$, пВт	1000000

Измерение шумов в канале ТЧ производится психофотметром, представляющим собой квадратичный вольтметр с включенным на входе фильтром, АЧХ которого учитывает чувствительность уха и телефона к частотам от 300 до 3400 Гц. Измеренные психофотметром шумы называются психофотметрическими (взвешенными).

3.2. Нормы на отношение сигнала изображения к напряжению помех в телевизионном канале аналоговой РРЛ

Нормы на отношение сигнала изображения к напряжению помех в телевизионном канале гипотетической эталонной цепи протяженностью 2500 км приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Нормы на отношение сигнала изображения к напряжению помех в телевизионном канале магистральной аналоговой РРЛ

Эталонная протяжённость РРЛ, L, км	Нормируемый показатель	Значение нормируемого показателя
2500	<p>Величина, ниже которой отношение сигнала изображения к визометрическому* шуму</p> $20\lg\left(\frac{U_{pc}}{U_{ш}}\right)$ <p>может падать не более чем 20% времени любого месяца, дБ</p>	61
	<p>Величина, ниже которой отношение сигнала изображения к визометрическому шуму</p> $20\lg\left(\frac{U_{pc}}{U_{ш}}\right)$ <p>может падать не более чем 1% времени любого месяца, дБ</p>	57
	<p>Величина, ниже которой отношение сигнала изображения к визометрическому шуму</p> $20\lg\left(\frac{U_{pc}}{U_{ш}}\right)$ <p>может падать не более чем 0,1% времени любого месяца, дБ</p>	49

* Визометрическое напряжение шума есть напряжение, измеренное квадратичным вольтметром с временем интеграции 1 с через включенный на входе визометрический (взвешивающий) фильтр. АЧХ визометрического фильтра учитывает чувствительность человеческого глаза к различным по частоте составляющим шума на экране телевизора.

3.3. Нормы на допустимые проценты времени ухудшения качества связи в цифровой РРЛ

Допустимые проценты времени, в течение которого в цифровой РРЛ вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$ может превышать допустимое значение $P_{\text{ош доп}}$, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Допустимые проценты времени, в течение которого $P_{\text{ош}}$ может превышать значение $P_{\text{ош доп}}$

Сеть связи	Эталонная протяженность РРЛ, L, км	Процент времени $S_{\text{max доп}}$, в течение которого $P_{\text{ош}} > P_{\text{ош доп}}$	
		$P_{\text{ош доп}} = 10^{-6}$	$P_{\text{ош доп}} = 10^{-3}$
Магистральная	2500	0,4	0,054
Внутрислоновая	1400	3,5	0,0735
Местная	200	1,5	0,032

4. Планы распределения частот

Полный план распределения частот радиорелейных систем Электроника-Связь-6, работающей в диапазоне 6 ГГц, и Ракита-8М, работающей в диапазоне 8 ГГц приведён на рисунке 4.1. План позволяет организовать восемь широкополосных стволов по двухчастотной системе.

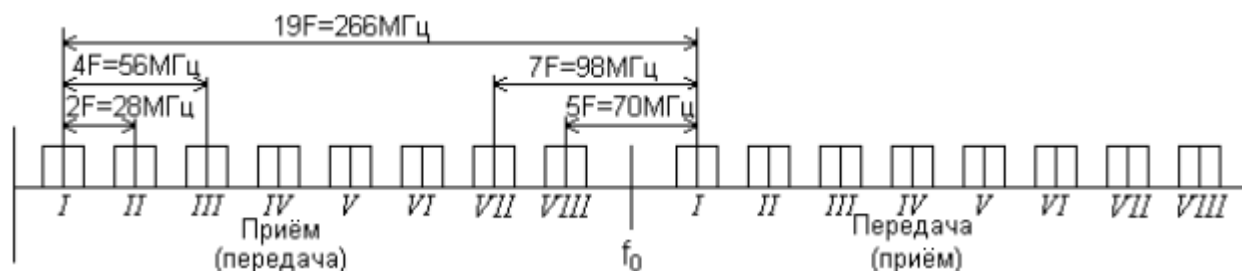


Рисунок 4.1. План распределения частот радиорелейных систем Электроника-Связь-6 и Ракита-8М

Номинальные значения частот стволов в нижней половине диапазона f_n определяются по формуле:

$$f_n = f_0 - 259 + 28 \cdot n,$$

а в верхней половине диапазона f_n' – по формуле:

$$f_n' = f_0 + 7 + 28 \cdot n,$$

где $f_0 = 5920$ МГц для диапазона 6 ГГц и $f_0 = 8157$ МГц для диапазона 8 ГГц;
 $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ – номера стволов.

Для построения заданной аналоговой РРЛ необходимо использовать 4 ствола (2 телефонных, 1 телевизионный и 1 резервный) с нечётными номерами. Поэтому для нижней половины диапазона:

$$f_1 = 5920 - 259 + 28 \cdot 1 = 5689 \text{ МГц},$$

$$f_3 = 5920 - 259 + 28 \cdot 3 = 5745 \text{ МГц},$$

$$f_5 = 5920 - 259 + 28 \cdot 5 = 5801 \text{ МГц},$$

$$f_7 = 5920 - 259 + 28 \cdot 7 = 5857 \text{ МГц},$$

и для верхней половины диапазона:

$$f_1' = 5920 + 7 + 28 \cdot 1 = 5955 \text{ МГц},$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а
------	------	----------	---------	-------

$$f_3' = 5920 + 7 + 28 \cdot 3 = 6011 \text{ МГц},$$

$$f_5' = 5920 + 7 + 28 \cdot 5 = 6067 \text{ МГц},$$

$$f_7' = 5920 + 7 + 28 \cdot 7 = 6123 \text{ МГц}.$$

План распределения частот с заданным количеством стволов для АРРЛ Электроника-Связь-6 приведён на рисунке 4.2.

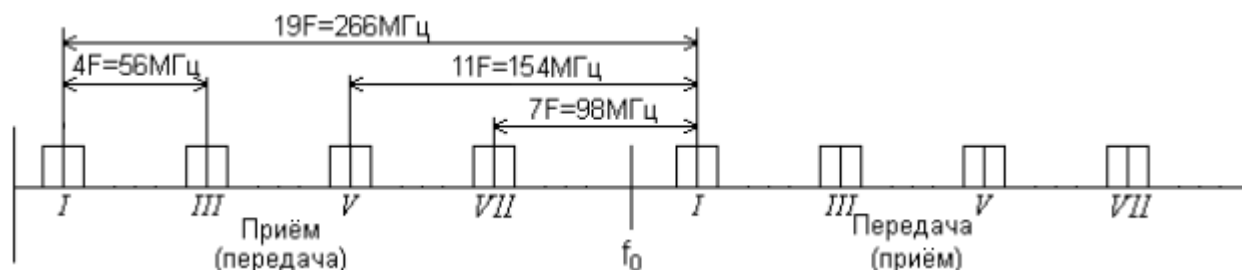


Рисунок 4.2. План распределения частот с заданным количеством стволов для АРРЛ Электроника-Связь-6

Для построения цифровой РРЛ используются два ствола: один рабочий и один резервный, причём стволы не должны быть соседними. Поэтому для оптимального выбора несущих частот стволов следует учесть, что они должны быть максимально разнесены друг от друга, как на нижней половине диапазона:

$$f_1 = 8157 - 259 + 28 \cdot 1 = 7926 \text{ МГц},$$

$$f_5 = 8157 - 259 + 28 \cdot 5 = 8038 \text{ МГц},$$

так и на верхней:

$$f_1' = 8157 + 7 + 28 \cdot 5 = 8192 \text{ МГц},$$

$$f_5' = 8157 + 5 + 28 \cdot 5 = 8304 \text{ МГц}.$$

План распределения частот с заданным количеством стволов для ЦРРЛ Ракита-8М приведён на рисунке 4.3.

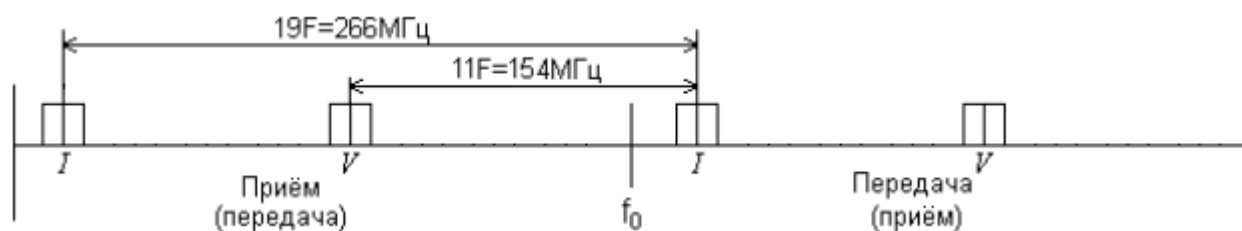


Рисунок 4.3. План распределения частот с заданным количеством стволов для ЦРРЛ Ракита-8М

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а
------	------	----------	---------	-------

5. Построение профиля пролёта и определение высот

подвеса антенн

5.1. Для построения профиля пролёта необходимо рассчитать линию условного нулевого уровня, высоту текущей точки которой можно найти по формуле:

$$y_i = \frac{R_0^2}{2 \cdot a} \cdot k_i \cdot (1 - k_i),$$

где $R_0=42 \text{ км}=42 \cdot 10^3 \text{ м}$ – длина пролёта;

$a=6370 \text{ км}=6370 \cdot 10^3 \text{ м}$ – геометрический радиус Земли;

$k_i=R_i/R_0$ – относительная координата текущей точки на оси абсцисс;

R_i – расстояние до текущей точки.

$$y(0)=y(1)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0 \cdot (1-0)=0 \text{ м},$$

$$y(0,1)=y(0,9)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0,1 \cdot (1-0,1)=12,46 \text{ м},$$

$$y(0,2)=y(0,8)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0,2 \cdot (1-0,2)=22,15 \text{ м},$$

$$y(0,3)=y(0,7)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0,3 \cdot (1-0,3)=29,08 \text{ м},$$

$$y(0,4)=y(0,6)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0,4 \cdot (1-0,4)=33,23 \text{ м},$$

$$y(0,5)=((42 \cdot 10^3)^2/(2 \cdot 6370 \cdot 10^3)) \cdot 0,5 \cdot (1-0,5)=34,62 \text{ м}.$$

От построенной линии нулевого уровня (см. Приложение А) вертикально вверх откладываются высотные отметки профиля h_i в точках k_i для получения точек высот профиля, которые соединены ломаной линией. Результаты расчёта профиля интервала с учётом условного нулевого уровня приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Результаты расчёта профиля интервала с учётом условного нулевого уровня

k_i	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$h_i, \text{ м}$	63	46	59	63	52	45	34	23	25	38	57
$y_i, \text{ м}$	0	12,46	22,15	29,08	33,23	34,62	33,23	29,08	22,15	12,46	0
$y_i+h_i, \text{ м}$	63	58,46	81,15	92,08	85,23	79,62	67,23	52,08	47,15	50,46	57

5.2. Выбор высот подвеса антенн (h) слева и справа определяется высотой просвета при нулевой рефракции $H(0)$, которая откладывается вертикально вверх от самой высокой точки профиля (вершины препятствия). Через эту точку проводят линию, соединяющую центры антенн на станциях, ограничивающих пролёт. В проекте предусмотрен расчёт пролётов первого типа. На пролётах первого типа местность пересечённая (нет зеркального отражения от Земли). Величина $H(0)$ вычисляется по формуле:

$$H(0)=H_0+d-\Delta H(\bar{g} +\sigma),$$

$$\text{где } H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1 - k)} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 42 \cdot 10^3 \cdot 0,0507 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,3)} = 12,22 \text{ м и}$$

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1 - k)} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 42 \cdot 10^3 \cdot 0,0368 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,3)} = 10,41 \text{ м} \quad - \quad \text{радиусы}$$

минимальной зоны Френеля для АРРЛ и ЦРРЛ;

$\lambda=5,07 \text{ см}=0,0507 \text{ м}$ и $\lambda=3,68 \text{ см}=0,0368 \text{ м}$ – средняя длина волны для АРРЛ и ЦРРЛ;

$k=k_i=0,3$ – относительная координата наивысшей точки на оси абсцисс;

d – средняя ошибка топографической карты (для равнинно-холмистой местности и масштаба карты $1:10^5$ значение средней ошибки $d=9 \text{ м}$);

$\Delta H(\bar{g} +\sigma)=-\left(R_0^2/4\right) \cdot (\bar{g} +\sigma) \cdot k \cdot (1-k)=-\left(\left(42 \cdot 10^3\right)^2/4\right) \cdot \left(-10 \cdot 10^{-8}+9 \cdot 10^{-8}\right) \cdot 0,3 \times$
 $\times(1-0,3)=0,93 \text{ м}$ – изменение просвета на пролёте за счёт атмосферной рефракции;

$\bar{g}=-10 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ – вертикальный градиент;

$\sigma=9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ – стандартное отклонение.

После подстановки соответствующих значений

$H(0)=12,22+9-0,93=20,29 \text{ м}$ – для АРРЛ и

$H(0)=10,41+9-0,93=18,48 \text{ м}$ – для ЦРРЛ.

Если предположить, что высоты подвеса антенн АРРЛ и ЦРРЛ слева и справа на профиле пролёта одинаковы, т. е. $h=h_n=h_{\text{л}}$, то их значение можно определить аналитически. Вычисления проведены в координатах $R[\text{км}]$, $y[\text{м}]$

					4072.403000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а		19

для АРРЛ. Через крайние точки пролёта А(0; 63) и В(42; 57) проходит прямая вида

$$\frac{R - R_A}{R_B - R_A} = \frac{y - y_A}{y_B - y_A} \Leftrightarrow \frac{R - 0}{42 - 0} = \frac{y - 63}{57 - 63} \Leftrightarrow y = -\frac{R}{7} + 63.$$

Тогда прямая, соединяющая точки подвеса антенн, будет проходить параллельно полученной не ниже точки С (0,3·R₀; y(0,3·R₀)), где 0,3·R₀=0,3·42=12,6 км, y(0,3·R₀)=H(0)+y₃+h₃=20,29+29,08+63=112,37 м, т. е. С (12,6; 112,37).

Следовательно, прямая, параллельная прямой, проходящей через точки положения ретрансляторов, имеет вид $y = -\frac{R}{7} + C$. Тогда при подстановке в

полученное выражение значений координат точки С $112,37 = -\frac{12,6}{7} + C$,

значение переменной C=114,17 м. Уравнение прямой, соединяющей точки

подвеса антенн, имеет вид $y = -\frac{R}{7} + 114,17$. После подстановки

соответствующих значений R для точек А и В в полученное уравнение

$$y(0) = -\frac{0}{7} + 114,17 = 114,17 \text{ м} \Leftrightarrow y(R_0) = -\frac{42}{7} + 114,17 = 108,17 \text{ м}$$

определяются соответствующие высоты подвеса антенн для АРРЛ

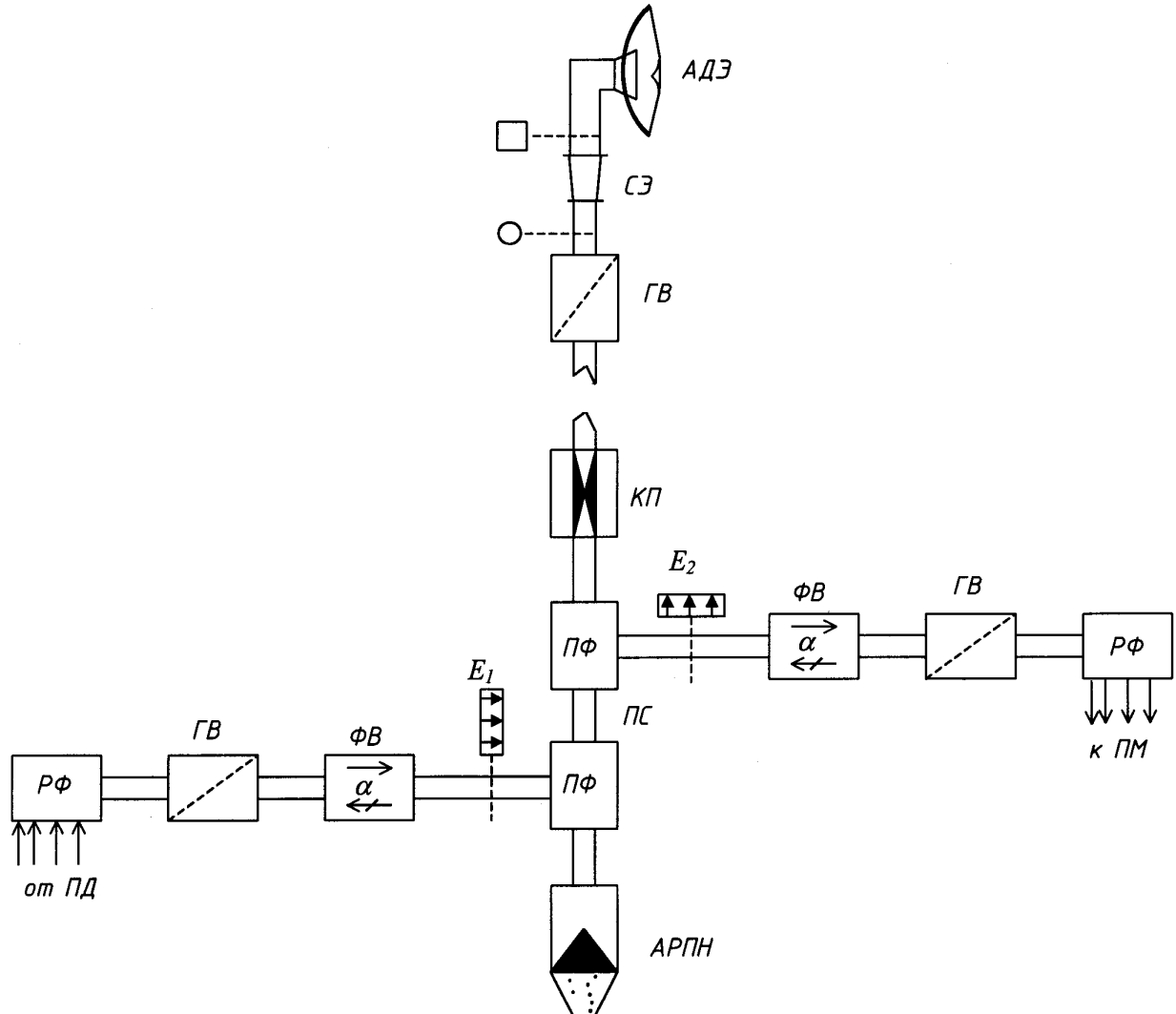
$$h = y(R_0) - y_{10} - h_{10} = y(0) - y_0 - h_0 = 108,17 - 57 - 0 = 114,17 - 63 - 0 = 51,17 \text{ м.}$$

Поскольку величина H(0) для АРРЛ отличается от величины H(0) для ЦРРЛ на 1,8 м, то и высоты подвеса антенн для ЦРРЛ отличаются от высот подвеса антенн для АРРЛ также на 1,8 м. Тогда высоты подвеса антенн для ЦРРЛ

$$h = 51,17 - 1,8 = 49,36 \text{ м.}$$

6. Расчёт потерь, вносимых антенно-волноводным трактом

Структурная схема антенно-волноводного тракта (АТВ) приведена на рисунке 6.1.



Условные обозначения:

АДЭ – антенна двухзеркальная с эллиптическим конусом;

СЭ – согласующий элемент;

ГВ – гермовставка;

КП – корректор поляризации;

ПФ – позиционный фильтр;

ФВ – ферритовый вентиль;

РФ – разделительный фильтр по частоте;

АРПН – антирезонансная поглощающая нагрузка.

Рисунок 6.1. Структурная схема антенно-волноводного тракта (для антенн типа АДЭ)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4072.403000.000 ПЗ

Лист

19

Суммарные потери в АВТ для АРРЛ рассчитываются по формуле:

$$b_{\Sigma}=b_{\text{ЭЛ АВТ}}+\alpha_{\text{в}}l_{\text{в}}+\alpha_{\text{г}}l_{\text{г}}, \quad (6.1)$$

где $b_{\text{ЭЛ АВТ}}=2,4$ дБ – потери в элементах АВТ;

$\alpha_{\text{в}}=0,09$ дБ/м (для частоты 6 ГГц), $\alpha_{\text{в}}=0,085$ дБ/м (для частоты 8 ГГц) и $\alpha_{\text{г}}=0,05$ дБ/м – потери на единицу длины в вертикальном и горизонтальном волноводах соответственно;

$l_{\text{в}}=h-3=51,17-3=48,17$ м и $l_{\text{в}}=h-3=49,36-3=46,36$ м – длина вертикального волновода для АРРЛ и ЦРРЛ (длины вертикальных волноводов для левой и правой антенн одинаковы);

$l_{\text{г}}=10$ м – расстояние от вышки до технического здания.

При подстановке соответствующих значений переменных в формулу 6.1 суммарные потери в АВТ для АРРЛ равны $b_{\Sigma}=2,4+0,09\cdot 48,17+0,05\cdot 10=7,24$ дБ (Суммарные потери в АВТ для левой и правой антенн одинаковы $b_{\Sigma}=b_{\Sigma\text{л}}=b_{\Sigma\text{п}}$).

Суммарные потери в АВТ для ЦРРЛ с аппаратурой Ракита-8М определяются аналогично по формуле 6.1: $b_{\Sigma}=2,4+0,085\cdot 46,36+0,05\cdot 10=6,84$ дБ. (Суммарные потери в АВТ для левой и правой антенн одинаковы $b_{\Sigma}=b_{\Sigma\text{л}}=b_{\Sigma\text{п}}$).

7. Расчёт минимально допустимых множителей ослабления рабочих стволов

В реальных условиях поверхность земли и среда, в которой происходит распространение радиоволн, существенно влияют на уровень сигнала в месте приёма. Их влияние учитывается множителем ослабления V , который показывает, во сколько раз реальная напряжённость поля в месте приёма E отличается от напряжённости при распространении в свободном пространстве E_0 , т. е. $E=E_0 \cdot V$. При изменении метеорологических условий меняется просвет $H(0)$, а, следовательно, и множитель ослабления V . Для получения устойчивой связи необходимо, чтобы множитель ослабления в течение заданного достаточно малого процента времени не падал ниже некоторого минимального значения V_{\min} . Минимальное значение множителя ослабления должно быть таким, чтобы

мощность шумов в телефонном канале $P_{\text{ш}}$, отношение $\left(\frac{U_{\text{pc}}}{U_{\text{ш}}}\right)^2$ в телевизионном канале или процент времени, в течение которого вероятность ошибки $P_{\text{ош}}$ превышает допустимое значение $P_{\text{ош доп}}$ в цифровой РРЛ соответствовали нормам.

7.1. Расчёт для телефонного ствола

Для ТФ-ствола АРРЛ минимально допустимый множитель ослабления определяется по формуле:

$$20 \cdot \lg V_{\min 0,1\%}^{\text{ТФ}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{шт}0,1\%}} + L_0 + b_{\Sigma \text{лп}} - G_{\Sigma} - K_{\text{ТФ}},$$

где $P_{\text{к}}=1 \text{ мВт}=10^9 \text{ пВт}$ – полезная мощность на выходе каждого ТФ-канала;

$P_{\text{шт}0,1\%}=40000 \text{ пВт}$ – максимальная допустимая мощность тепловых шумов;

$$10 \cdot \lg \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{шт}0,1\%}} = 10 \cdot \lg \frac{10^9}{40000} = 43,98 \text{ дБ} \approx 44 \text{ дБ};$$

					4072.403000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$b_{\Sigma_{л+п}} = b_{\Sigma_{л}} + b_{\Sigma_{п}} = 2 \cdot b_{\Sigma} = 2 \cdot 7,24 = 14,47$ дБ – потери в АВТ на пролёте для АРРЛ;
 $G_{\Sigma} = 2 \cdot G = 2 \cdot 44,8 = 89,6$ дБ – суммарный коэффициент усиления антенн АДЭ-3,5 для диапазона частот 6 ГГц;

$K_{ТФ} = 140,3$ дБ – коэффициент системы для ТФ-ствола;

$L_0 = 20 \cdot \lg(4 \cdot \pi \cdot R_0 / \lambda)$ – основные потери передачи в открытом пространстве, где $R_0 = L/m = 1400/36 = 38,88889$ км = 38888,89 м – среднее значение длины интервала.

После подстановки соответствующих значений переменных определяются основные потери передачи в открытом пространстве и минимально допустимый множитель ослабления для ТФ- и ТВ-стволов АРРЛ:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4 \cdot \pi \cdot 38888,89 / 0,0507) = 139,67 \text{ дБ,}$$

$$20 \cdot \lg V_{\min 0,1\%}^{ТФ} = 43,98 + 139,67 + 14,47 - 89,6 - 140,3 = -31,78 \text{ дБ.}$$

7.2. Расчёт для телевизионного ствола

Для ТВ-ствола АРРЛ минимально допустимый множитель ослабления определяется по формуле:

$$20 \cdot \lg V_{\min 0,1\%}^{ТВ} = 20 \cdot \lg \frac{U_{pc}}{U_{ш}} + L_0 + b_{\Sigma_{л+п}} - G_{\Sigma} - K_{ТВ},$$

где $20 \cdot \lg \frac{U_{pc}}{U_{ш}} = 49$ дБ;

U_{pc} – размах яркостного сигнала;

$U_{ш}$ – шумовое напряжение;

$K_{ТВ} = 158,7$ дБ – коэффициент системы для ТВ-ствола.

После подстановки соответствующих значений переменных определяется минимально допустимый множитель ослабления для ТВ-ствола АРРЛ:

$$20 \cdot \lg V_{\min 0,1\%}^{ТВ} = 49 + 139,67 + 14,47 - 89,6 - 158,7 = -45,16 \text{ дБ.}$$

Исходя из того, что даже при наибольшем допустимом множителе ослабления $-31,78$ дБ принимаемый сигнал должен удовлетворять установленным нормам, все дальнейшие расчёты проведены для ТФ-ствола.

7.3. Расчёт для цифрового ствола

					4072.403000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Для ствола ЦРРЛ минимально допустимый множитель ослабления определяется по формуле:

$$20 \cdot \lg V_{\min}^{\Pi} = P_{\text{с пор}} - P_{\text{пд}} + L_0 + b_{\Sigma_{\text{л+п}}} - G_{\Sigma} + \Delta V_{\text{обр}}$$

где $P_{\text{пд}} = -3$ дБВт – мощность передатчика;

$P_{\text{с пор}} = -110$ дБВт – пороговая мощность сигнала, при которой соблюдается вероятность ошибки $P_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$;

$L_0 = 20 \cdot \lg(4 \cdot \pi \cdot R_0 / \lambda) = 20 \cdot \lg(4 \cdot \pi \cdot 38888,89 / 0,0368) = 142,45$ дБ – основные потери передачи в открытом пространстве для ЦРРЛ;

$b_{\Sigma_{\text{л+п}}} = b_{\Sigma_{\text{л}}} + b_{\Sigma_{\text{п}}} = 2 \cdot b_{\Sigma} = 2 \cdot 6,84 = 13,68$ дБ – потери в АВТ на пролёте для ЦРРЛ;

$G_{\Sigma} = 2 \cdot G = 2 \cdot 44 = 88$ дБ – суммарный коэффициент усиления антенн АДЭ-2,5 для диапазона частот 8 ГГц;

$\Delta V_{\text{обр}} = 5$ дБ – энергетический запас, учитывающий влияние мешающих сигналов, вызванных обратным излучением и приёмом этих сигналов на каждой промежуточной станции.

После подстановки соответствующих значений переменных определяется минимально допустимый множитель ослабления для цифрового ствола ЦРРЛ:

$$20 \cdot \lg V_{\min}^{\Pi} = -110 - (-3) + 142,45 + 13,68 - 88 + 5 = -33,87 \text{ дБ.}$$

8. Проверочный расчёт устойчивости связи на РРЛ

8.1. Расчёт устойчивости связи на АРРЛ

Допустимый процент времени перерывов связи 0,1% задан для гипотетической эталонной цепи длиной 2500 км, поэтому для заданной длины РРЛ L (в км) допустимый процент времени перерывов связи:

$$S_{\max}^{\text{АРРЛ}} = 0,1\% \cdot \frac{L}{2500} = 0,1\% \cdot \frac{1400}{2500} = 0,056\%.$$

Неустойчивость связи на i-м пролете:

$$T_i = T_{0i}(V_{\min}) + T_{ii}(V_{\min}) + T_{di}(V_{\min}),$$

где T_{0i} – неустойчивость связи из-за экранирующего действия препятствий (в данном случае можно принять $T_{0i}=0$);

T_{di} – неустойчивость связи из-за ослабления энергии радиоволн в гидрометеорах (считается только для частоты $f \geq 8$ ГГц, поэтому $T_{di}=0$);

T_{ii} – неустойчивость связи из-за интерференции прямой волны и волн, отраженных от поверхности Земли и от слоистых неоднородностей тропосферы; определяется по формуле

$$T_{ii} = V_{\min}^2 \cdot T(\Delta \epsilon),$$

где V_{\min} – минимально допустимый множитель ослабления в единицах, т. е. $V_{\min} = 10^{0,05 \cdot V_{\min, \text{дБ}}} = 10^{0,05 \cdot (-31,78)} = 25,76 \cdot 10^{-3}$;

$T(\Delta \epsilon) \approx 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot R_0^2 \cdot f \cdot \sqrt{f} = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 38,88889^2 \cdot 5,92 \cdot \sqrt{5,92} = 8,93\%$ – вероятность возникновения интерференционных замираний, обусловленных отражениями радиоволн от слоистых неоднородностей тропосферы с перепадом диэлектрической проницаемости воздуха $\Delta \epsilon$ ($R_0 = L/m = 1400/36 = 38,88889$ км – среднее значение длины интервала, $f = f_0 = 5,92$ ГГц).

Следовательно,

$$T_{ii} = (25,76 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8,93 = 5,93 \cdot 10^{-3}\%,$$

$$T_i = 0 + 5,93 \cdot 10^{-3} + 0 = 5,93 \cdot 10^{-3}\%.$$

Поскольку в заданной аппаратуре применяется посекционное резервирование 3+1, т. е. частотно-разнесённый приём (ЧРП), необходимо найти суммарный процент времени перерывов связи на секции из-за интерференции прямой и отражённой волн с учётом резервного ствола:

$$T_{\text{сз}} = \frac{x+1}{2} \cdot C_f \cdot 10^{-2} \cdot (m_c \cdot T_{\text{ин}})^2,$$

где $x=3$ – число рабочих стволов (2 ТФ и 1 ТВ);

$C_f=25$ – эмпирический коэффициент, учитывающий статистическую зависимость замираний на пролёте при ЧРП;

$m_c=6$ – число интервалов (пролётов) в каждой секции магистральной РРЛ.

$$T_{\text{сз}} = \frac{3+1}{2} \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot (6 \cdot 5,93 \cdot 10^{-3})^2 = 632,22 \cdot 10^{-6}\%.$$

Для всей РРЛ, состоящей из n секций (и m интервалов), суммарный процент времени перерывов связи:

$$S_{\text{РРЛ}} = n \cdot T_{\text{сз}} + \sum_{i=1}^m T_{\text{oi}}(V_{\text{min}}) + \sum_{i=1}^m T_{\text{ди}}(V_{\text{min}}) = 6 \cdot 632,22 \cdot 10^{-6} + 36 \cdot 0 + 36 \cdot 0 = 3,79 \cdot 10^{-3}\%.$$

Так как полученное значение суммарного процента времени перерывов связи $S_{\text{РРЛ}}$ удовлетворяет условию $S_{\text{max}}^{\text{АРРЛ}} \geq S_{\text{РРЛ}}$ ($0,056\% > 0,00379\%$), то аналоговая радиорелейная линия связи спроектирована правильно.

8.2. Расчёт устойчивости связи на ЦРРЛ

Особенностью цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) является зависимость вероятности ошибок ($P_{\text{ош}}$) на выходе линии от уровня сигнала и от порогового уровня сигнала на входе приёмника. Помехоустойчивость ЦРРЛ определяется выбранными методами модуляции и демодуляции, особенностями аппаратурных решений. Цифровая РРЛ считается в состоянии простоя, если в течение 10 с сигнал пропадает, либо $P_{\text{ош}} > 10^{-3}$ – срыв связи.

Учитываются две допустимые величины $P_{\text{ош}}$:

- для случая отсутствия глубоких замираний сигнала на пролёте РРЛ $P_{\text{ошдоп}} = 10^{-6}$ (усреднённая за 1 минуту она может быть превышена в течение

заданного процента времени любого месяца). В настоящее время рекомендация на $P_{\text{ош доп}}=10^{-6}$ проверяется в эксплуатационных условиях;

- для случая глубоких замираний сигнала на пролёте РРЛ $P_{\text{ош доп}}=10^{-3}$ (усреднённая за 1 с она может быть превышена в течение заданного процента времени любого месяца).

Определяющим техническим параметром аппаратуры ЦРРЛ является пороговый уровень сигнала на входе приёмника ($P_{\text{с пор}}$, дБВт), при котором обеспечивается $P_{\text{ош доп}}=10^{-3}$. Для цифровой магистральной РРЛ протяженностью $L=1400$ км, отличающейся от эталонной протяженности 2500 км, $P_{\text{ош}}$ не должна превышать $P_{\text{ош доп}}=10^{-3}$ в течение более, чем

$$S_{\text{max}}^{\text{ЦРРЛ}} = 0,054\% \cdot \frac{L}{2500} = 0,054\% \cdot \frac{1400}{2500} = 0,03024\%.$$

Неустойчивость связи и суммарный процент времени перерывов связи для ЦРРЛ считается так же, как для АРРЛ. Минимально допустимый множитель ослабления в единицах равен:

$$V_{\text{min}} = 10^{0,05 \cdot V_{\text{min, дБ}}} = 10^{0,05 \cdot (-33,87)} = 20,26 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность возникновения интерференционных замираний при $R_0=L/m=1400/36=38,88889$ км, $f=f_0=8,157$ ГГц равна:

$$T(\Delta \epsilon) \approx 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot R_0^2 \cdot f \cdot \sqrt{f} = 4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 38,88889^2 \cdot 8,157 \cdot \sqrt{8,157} = 14,45\%.$$

Неустойчивость связи из-за интерференции прямой волны и волн, отраженных от поверхности Земли и от слоистых неоднородностей тропосферы равна:

$$T_{\text{и}} = V_{\text{min}}^2 \cdot T(\Delta \epsilon) = (20,26 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 14,45 = 5,93 \cdot 10^{-3}\%.$$

Неустойчивость связи из-за экранирующего действия препятствий T_{0i} в данном случае равна 0. Неустойчивость связи из-за ослабления энергии радиоволн в гидрометеорах $T_{\text{дi}}$ для частоты $f \geq 8$ ГГц определяется следующим образом. При проектировании РРЛ со сменной поляризацией $T_{\text{дi}}$ рассчитывается для наихудшего случая, т. е. для горизонтальной поляризации.

Для этого вначале следует найти приведённое значение минимально допустимого множителя ослабления:

$$V'_{\min} \approx 0,87 \cdot V_{\min} = 0,87 \cdot (-33,87) = -29,46 \text{ дБ.}$$

С помощью кривых на рисунке 8.1 по известным величинам V'_{\min} и R_0 можно определить максимально допустимую интенсивность дождя $J_{\text{доп}}$, которая может привести к ослаблению на трассе до V'_{\min} при вертикальной поляризации (соответственно до V_{\min} при горизонтальной поляризации).

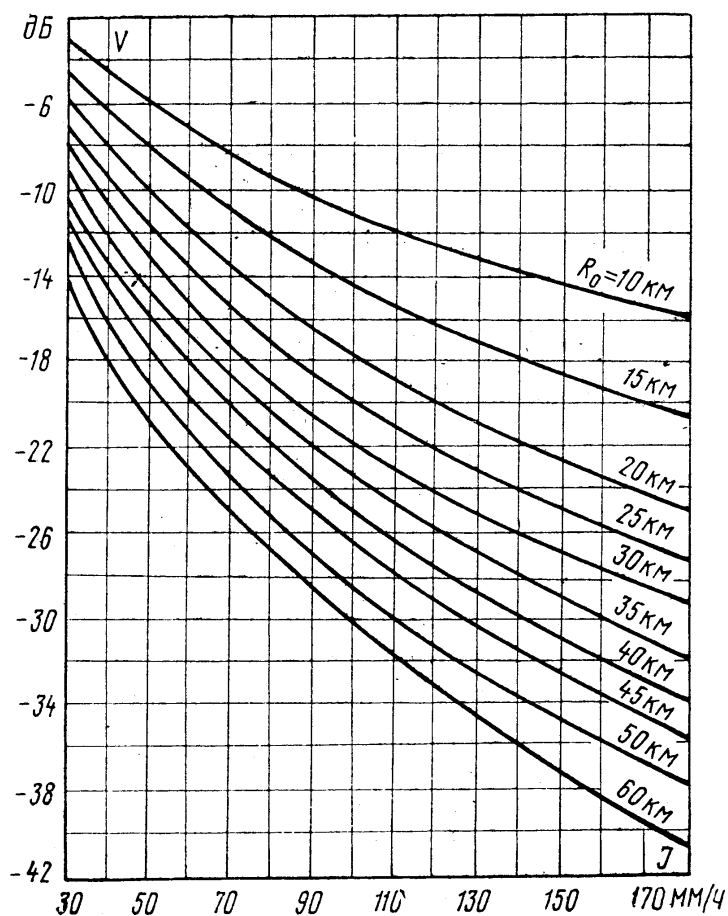


Рисунок 8.1. Зависимость равновероятных значений V от J при вертикальной поляризации в диапазоне 8 ГГц

Максимально допустимая интенсивность дождя $J_{\text{доп}}=178$ мм/ч при горизонтальной поляризации ($V_{\min}=-33,87$ дБ) и $J_{\text{доп}}=142$ мм/ч – при вертикальной ($V'_{\min}=-29,46$ дБ). Далее по кривой 22 на рисунке 8.2, соответствующей распределению интенсивности дождей в Средней полосе Западно-Сибирской низменности, определяется процент времени, в течение которого $J \geq J_{\text{доп}}$, т. е. величина $T_{\text{дл}}(V_{\min})$ в %.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а
------	------	----------	---------	-------

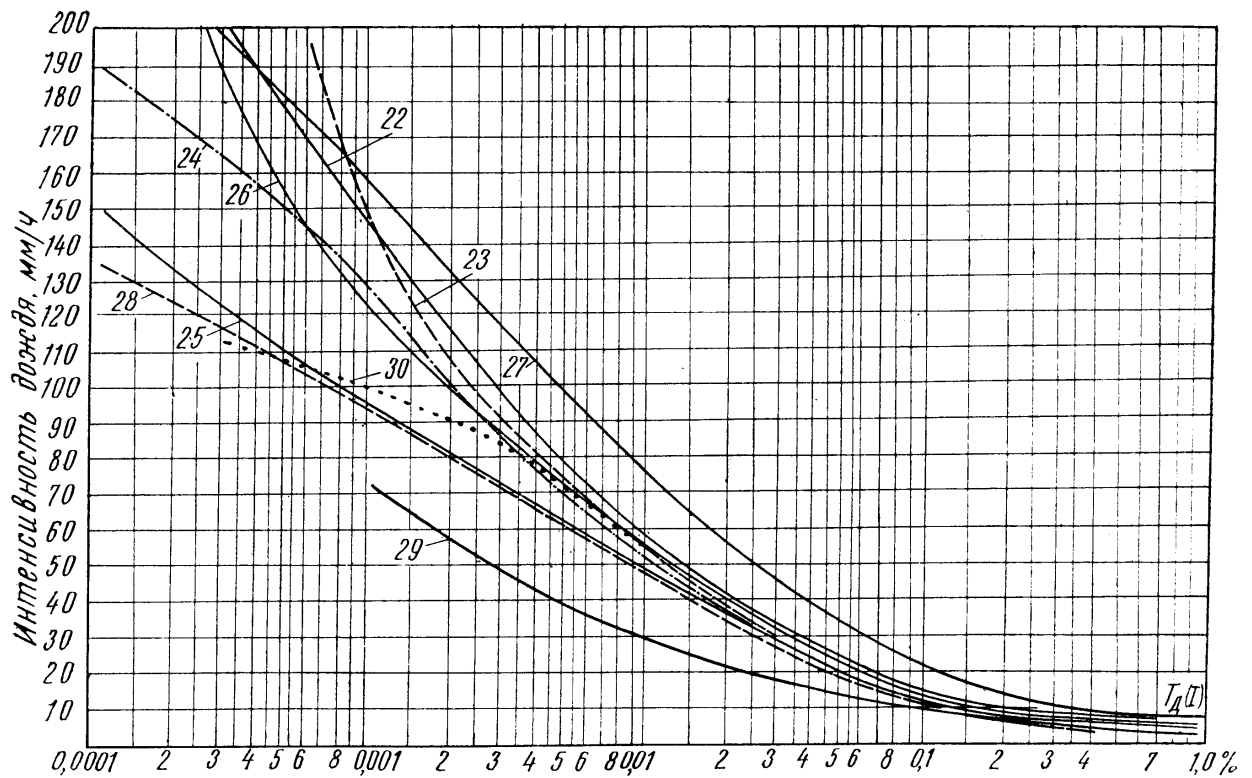


Рисунок 8.2. Статистические распределения среднееминутных значений интенсивности дождей на Сибири и Дальнем Востоке

Неустойчивость связи из-за ослабления энергии радиоволн в гидрометеорах $T_{дi}(V_{\min})=T_{дi}(-33,87)=0,0005\%$.

Неустойчивость связи на i -м пролёте:

$$T_i=T_{0i}(V_{\min})+T_{иi}(V_{\min})+T_{дi}(V_{\min})=0+5,93 \cdot 10^{-3}+0,0005=6,43 \cdot 10^{-3}\%.$$

Суммарный процент времени перерывов связи на секции из-за интерференции прямой и отражённой волн с учётом резервного ствола:

$$T_{сз} = \frac{x+1}{2} \cdot C_f \cdot 10^{-2} \cdot (m_c \cdot T_{иi})^2 = \frac{1+1}{2} \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot (6 \cdot 5,93 \cdot 10^{-3})^2 = 316,63 \cdot 10^{-6}\%,$$

где $x=1$ – число рабочих стволов.

Для всей РРЛ суммарный процент времени перерывов связи:

$$S_{РРЛ} = n \cdot T_{сз} + \sum_{i=1}^m T_{0i}(V_{\min}) + \sum_{i=1}^m T_{дi}(V_{\min}) = 6 \cdot 316,63 \cdot 10^{-6} + 36 \cdot 0 + 36 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 19,9 \cdot 10^{-3}\%.$$

Так как полученное значение суммарного процента времени перерывов связи $S_{РРЛ}$ удовлетворяет условию $0,9 \cdot S_{\max}^{ЦРРЛ} \geq S_{РРЛ}$ ($0,0272\% > 0,0199\%$), то цифровая радиорелейная линия связи спроектирована правильно.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

4072.403000.000 ПЗ

Лист

19

9. Расчёт диаграмм уровней сигнала на пролёте

На рисунке 9.1 приведены диаграммы изменения уровня сигнала на пролёте аналоговой и цифровой РРЛ. По оси абсцисс откладываются точки диаграммы, по оси ординат – значения мощности сигнала в этих точках. Точки диаграммы обозначены следующим образом:

сигнал на выходе левого передатчика;

сигнал, подводимый к левой (передающей) антенне;

сигнал, излучаемый левой (передающей) антенной;

сигнал, принимаемый правой (приёмной) антенной;

сигнал на выходе правой (приёмной) антенны;

сигнал на входе приёмника;

сигнал на выходе правого передатчика.

9.1. АРРЛ, $V_{\min 0,1\%}$

Значения мощности сигнала в точках диаграммы:

1. $P_1 = P_{\text{ид}} = 4,8$ дБВт;

2. $P_2 = P_1 - b_{\Sigma\pi} = 4,8 - 7,24 = -2,44$ дБВт;

3. $P_3 = P_2 + G = -2,44 + 44,8 = 42,36$ дБВт;

4. $P_4 = P_3 - L_0 + V_{\min 0,1\%} = 42,36 - 139,67 + (-31,78) = -129,09$ дБВт;

5. $P_5 = P_4 + G = -129,09 + 44,8 = -84,29$ дБВт;

6. $P_6 = P_5 - b_{\Sigma\pi} = -84,29 - 7,24 = -91,52$ дБВт;

7. $P_7 = P_1 = 4,8$ дБВт.

9.2. АРРЛ, $V(80\%)$

Значения мощности сигнала в точках диаграммы ($V(80\%) = -6$ дБ):

1. $P_1 = P_{\text{ид}} = 4,8$ дБВт;

2. $P_2 = P_1 - b_{\Sigma\pi} = 4,8 - 7,24 = -2,44$ дБВт;

3. $P_3 = P_2 + G = -2,44 + 44,8 = 42,36$ дБВт;

4. $P_4 = P_3 - L_0 + V(80\%) = 42,36 - 139,67 + (-6) = -103,3$ дБВт;

5. $P_5 = P_4 + G = -103,3 + 44,8 = -58,5$ дБВт;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а
------	------	----------	---------	-------

4072.403000.000 ПЗ

Лист

19

$$6. P_6 = P_5 - b_{\Sigma\Pi} = -58,5 - 7,24 = -65,74 \text{ дБВт};$$

$$7. P_7 = P_1 = 4,8 \text{ дБВт}.$$

9.3. ЦРРЛ, V_{\min}^{Π}

Значения мощности сигнала в точках диаграммы:

$$1. P_1 = P_{\Pi\Delta} = -3 \text{ дБВт};$$

$$2. P_2 = P_1 - b_{\Sigma\Pi} = -3 - 6,84 = -9,84 \text{ дБВт};$$

$$3. P_3 = P_2 + G = -9,84 + 44 = 34,16 \text{ дБВт};$$

$$4. P_4 = P_3 - L_0 + V_{\min}^{\Pi} = 34,16 - 142,45 + (-33,87) = -142,16 \text{ дБВт};$$

$$5. P_5 = P_4 + G = -142,16 + 44 = -98,16 \text{ дБВт};$$

$$6. P_6 = P_5 - b_{\Sigma\Pi} = -98,16 - 6,84 = -105 \text{ дБВт};$$

$$7. P_7 = P_1 = 3 \text{ дБВт}.$$

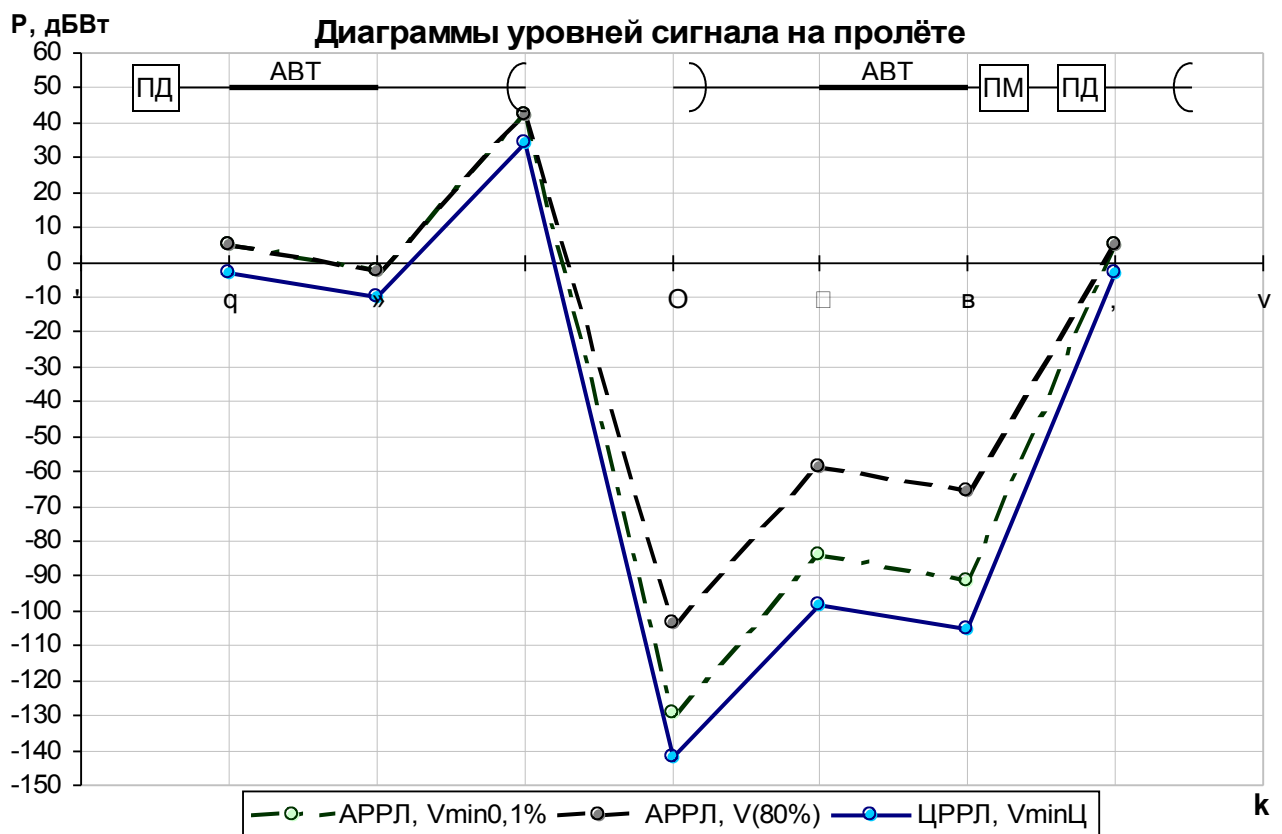


Рисунок 9.1. Диаграммы уровней сигнала на пролёте

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат а
------	------	----------	---------	-------

4072.403000.000 ПЗ

Лист

19

10. Заключение

В курсовом проекте было проведено проектирование аналоговых и цифровых радиорелейных систем передачи. Согласно поставленным исходным данным и основным техническим характеристикам отечественной радиорелейной аппаратуры были проведены расчёты полосы пропускания, числа секций (участков) и пролётов, несущих частот ТФ-, ТВ-, цифровых и резервных стволов, высот подвеса антенн (с определением высоты просвета при нулевой рефракции $N(0)$), суммарных потерь, вносимых антенно-волноводным трактом, минимально допустимых множителей ослабления рабочих стволов, устойчивости связи на РРЛ и значений мощности сигнала в точках диаграммы. Также в соответствии с требованиями курсового проекта были приведены нормы на шумы в канале ТЧ, нормы на отношение сигнала изображения к напряжению помех в телевизионном канале, нормы на допустимые проценты времени ухудшения качества связи, рисунки с изображением структурной схемы РРЛ, планами распределения частот для выбранных АРРЛ и ЦРРЛ систем, профиля пролёта, структурной схемы антенно-волноводного тракта (для антенн типа АДЭ) и диаграмм уровней сигнала на пролёте.

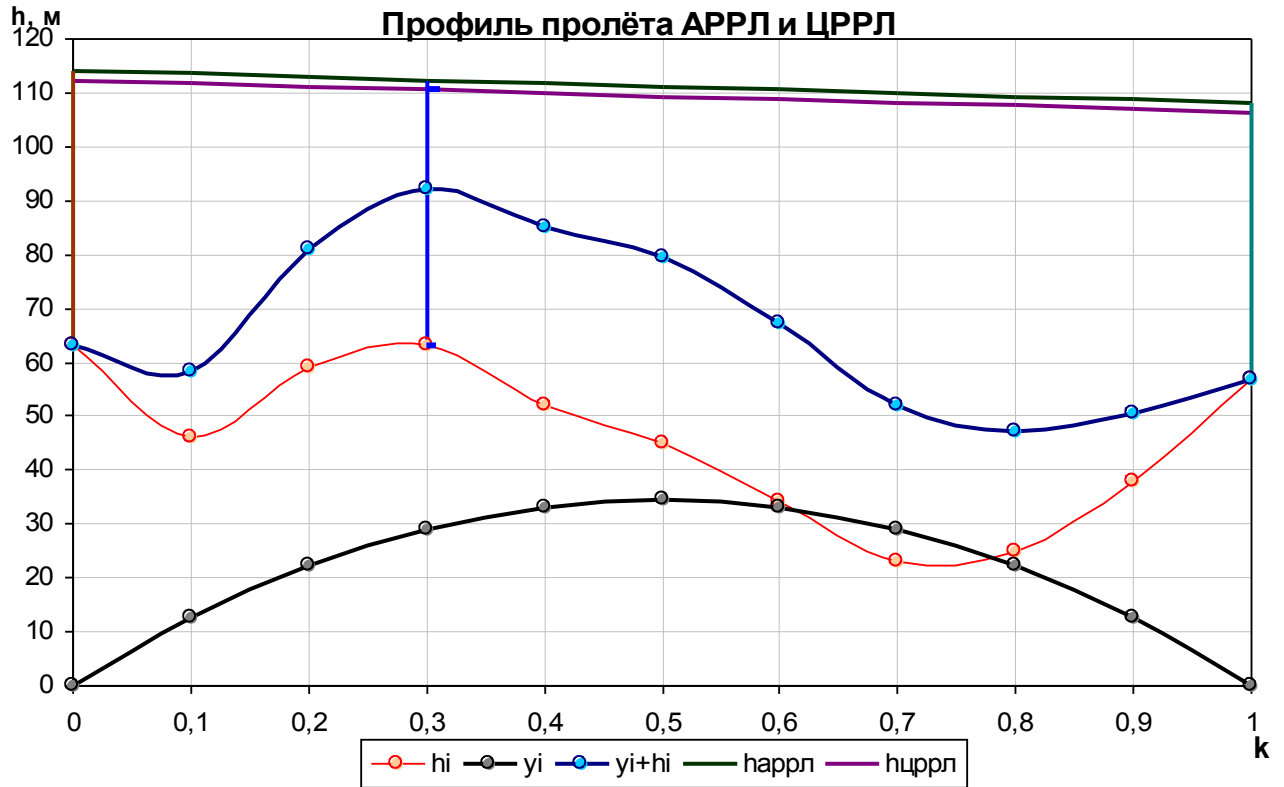
Удалось выяснить, что устойчивость связи на магистральной АРРЛ для заданной аппаратуры полностью удовлетворяет нормам при всех условиях. А устойчивость связи на магистральной ЦРРЛ по расчётам хотя и удовлетворяет нормам, но на практике работа заданной аппаратуры зависит от интенсивности осадков (неустойчивости связи из-за ослабления энергии в гидрометеорах). На устойчивость связи в рассчитанной ЦРРЛ влияют и произвольно выбранные значения энергетического запаса $\Delta V_{обр}$ (при $\Delta V_{обр} > 7,5$ дБ условие $0,9 \cdot S_{\max}^{ЦРРЛ} \geq S_{РРЛ}$ может не выполняться) и эмпирического коэффициента C_f .

Список использованной литературы

1. Методика расчёта трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости / НИИР, Т.1. – 1987. – 198 с.
2. Методическая разработка к курсовому и дипломному проектированию РРЛ ПВ. – Самара, ПИИРС, 1992. – 45 с.
3. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1987. – 192 с.
4. Репин В.Н. Цифровые радиорелейные линии: Методическая разработка к курсовому и дипломному проектированию. – Самара, ПГАТИ, 2000. – 9 с.
5. Справочник по радиорелейной связи / Под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 415 с.
6. Цифровые и аналоговые системы передачи / Под ред. В.И.Иванова. – М.: Радио и связь, 1995. – 232 с.

					4072.403000.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Приложение А. Профиль пролёта АРРЛ и ЦРРЛ



4072.403000.000				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Абзалов А.В.		
Провер.		Киселёв А.Е.		
Реценз.				
Н. Конт р.		Зуев О.О.		
Ут верд.		Султанов А.Х.		
Проект ирование радиорелейной системы передачи Профиль пролёт а РРЛ			Лит . Лист Лист ов	30 1
УГАТУ, ФАП, МКС-415				