

## РАБОТА 2. Расчет некоторых параметров цифровых РРЛ.

### 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  $G_1$ . При распространении сигнала по интервалу РРЛ (протяженностью  $R_0$ , 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  $G_2$ , 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.

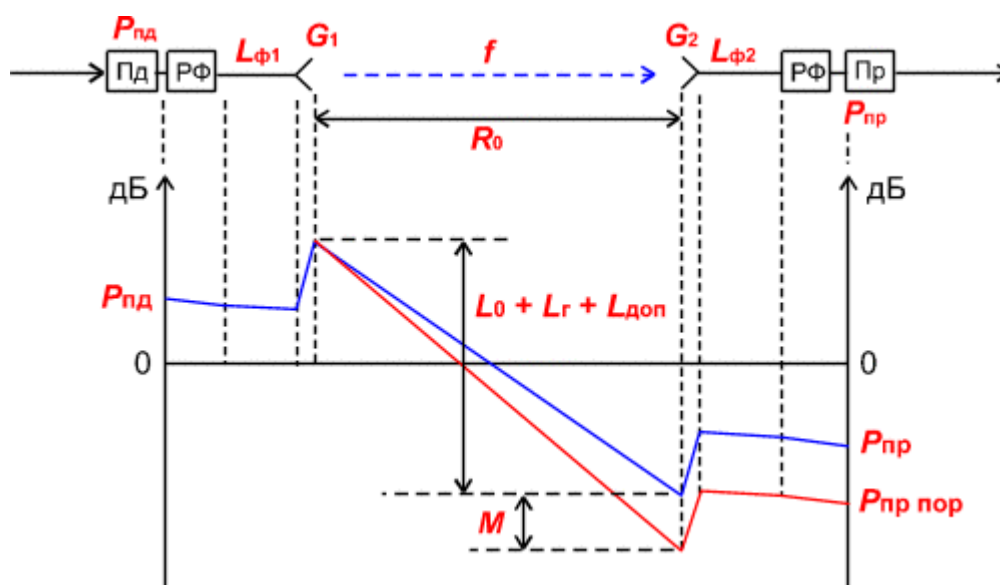


Рис. 1

В контрольной 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.

Для выполнения работы выберите вариант задания из [табл. 2](#).

1. Из [прил.1](#) выберите 3 - 4 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:

$$G = 20 \lg(D) + 20 \lg(f) + 17.5, \text{ дБ}, \quad (17)$$

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:

$$L_0 = 20 \lg (4.189 \cdot 10^4 R_0 f), \text{ дБ}, \quad (18)$$

где  $R_0$  - протяженность интервала РРЛ, км,

4. Определите погонные потери радиосигнала в атомах кислорода  $l_0$  и в водяных парах  $l_n$  для разных частот по графику ([прил. 2](#)) и рассчитайте полные потери в газах атмосферы:

$$L_g = (\gamma_0 + \gamma_n) R_0, \text{ дБ}. \quad (19)$$

5. Рассчитайте уровень сигнала на входе приемника при от-сутствии замираний:

$$P_{пр} = P_{пд} + G_1 + G_2 - L_0 - L_{ф1} - L_{ф2} - L_g - L_{рф} - L_{доп}, \quad (20)$$

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

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

$L_{рф}$  - ослабление сигнала в разделительных фильтрах (для контрольной работы примите равным 0 дБ);

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

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

$$M = P_{пр} - P_{пр пор}(10^{-3}), \quad (21)$$

где  $P_{пр пор}(10^{-3})$  - пороговый уровень сигнала на входе приемника при коэффициенте ошибок  $k_{ош} = 10^{-3}$  (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 [рис. 1](#).

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

## Приложения

**Таблица 2**

Последние две цифры номера зач. книжки	V, Мбит/с	RO, км	Последние две цифры номера зач. книжки	V, Мбит/с	RO, 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,  
**Ro**- средняя протяженность интервала.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

Некоторые типы аппаратуры цифровых РРЛ

<b>Аппаратура</b>	<b>Фирма</b>	<b>f, ГГц</b>	<b>R<sub>пд</sub>, дБм</b>	<b>Модуляция</b>	<b>Скорость, Мбит/с</b>	<b>R<sub>пор</sub> (10<sup>-3</sup>), дБм</b>
Эриком - 11	Россия	10.7-11.7	16	ЧММС	2 8	- 86 - 83
Радан - 2	Россия	10.7-11.7	17	ЧМ	1	- 78
Радан-МГ-120/480	Россия	10.7-11.7	18.5	ММС	34	- 73
Радан-МГ-11-120	Россия	10.7-11.7	18.5	ММС	8	- 87
Радан-МС-11-15/30	Россия	10.7-11.7	18	ЧМ	2	- 87

Nateks-Mikrolink SDH	НТЦ Натекс, Россия	10.75-11.25	24	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ11	Микран, Россия	10.7-11.7	28.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
SRA 1/1S	Siemens	12.7-13.3	22.5	32 TCM	STM-0	- 80.5
NL 183	Nera	12.7-13.3	24	4QFM	8	- 88
Бист-13	Россия	12.7-13.3	10 - 26	-	2 8 16	- 90 - 87 - 78
PASOLINK <sup>+</sup> (13)	NEC Япония	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	NEC Япония	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	Россия	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	НТЦ Натекс, Россия	12.75-13.25	20	QPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2 (34)	- 92 - 89 - 87 - 84
FlexyHopper	Nokia	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	НТЦ Натекс, Россия	12.75-13.25	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ13	Микран, Россия	12,75 - 13,25	28.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
FlexyHopper	Nokia	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	Siemens	14.5-15.3	21.5	32 TCM	STM-0	- 80
Nateks-Mikrolink	НТЦ Натекс, Россия	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	Nera	14.5-15.3	21	4QFM	8	- 88
Радиан-15	Радиан СПб	14.5-15.3	20 (26)	-	2 8	- 89 - 86

					16 34	- 83 - 80
Радиус-15	Радиус-2 Москва	14.5-15.3	23	QPSK	2	- 87
MINI-LINK 15-C	Ericsson Швеция	14.5-15.3	18 (25)	4FSK	2 8 16 34	- 93 - 87 - 84 - 81
MINI-LINK 15-E (Микро)  MINI-LINK 15-E	Ericsson Швеция	14.5-15.3	18 (25)	C-QPSK	2 4 8 16 34	- 94 - 91 - 88 - 85 - 82
PASOLINK 15	NEC Япония	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 <sup>+</sup> (15)	NEC Япония	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	НТЦ Натекс, Россия	14.4- 15.35	18	128 QAM	STM-1	- 70*
МИК-РЛ15	Микран, Россия	14,4 - 15,35	19.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
FlexyHopper 18	Nokia	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	НТЦ Натекс, Россия	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	НТЦ Натекс, Россия	17.7-19.7	17	128 QAM	STM-1	- 70*
MINI-LINK 18-E (Микро)  MINI-LINK 18-E	Ericsson Швеция	17.7-19.7	18 (23)	C-QPSK	2 4 8 16 34	- 94 - 91 - 88 - 85 - 82
PASOLINK 18	NEC Япония	17.7-19.7	23 23 20 20	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 84 - 81
PASOLINK <sup>+</sup> (18)	NEC	17.7-19.7	18	32 MLCM	STM-1	- 80

	Япония		15 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	- 71.5 - 80 - 87 - 84
CITYLINK 155 32 TCM/18	Nera	17.7-19.7	17 (21)	32 TCM	STM-1	- 73
МИК-РЛ18	Микран, Россия	17.7-19.7	25.5	QPSK	2 8 34	- 90 - 86 - 81
Радиан-23	Радиан СПб	21.2-23.6	25	-	2 8 16 34	- 87 - 84 - 81 - 78
MINI-LINK 23-C	Ericsson Швеция	21.2-23.6	20	4FSK	2 4 8 16	- 92 - 86 - 83 - 80
CITYLINK 155 32 TCM/23	Nera	21.2-23.6	16.5	32 TCM	STM-1	-72.5
MINI-LINK 23-E (Микро)  MINI-LINK 23-E	Ericsson Швеция	21.2-23.6	20	C-QPSK	2 4 8 16 34	- 93 - 90 - 87 - 84 - 81
PASOLINK 23	NEC Япония	21.2-23.6	23 23 20 20	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 90.5 - 87.5 - 83 - 80
PASOLINK <sup>+</sup> (23)	NEC Япония	21.2-23.6	18 15 17 20 20	32 MLCM 128 QAM (RS) 32 QAM (RS) 16 QAM (RS) 16 QAM (RS)	STM-1 STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 80 - 71.5 - 80 - 87 - 84
Galaxy 23	Harris, USA	21.2-23.6	19	32 TCM	STM-1	- 76
FlexyHopper 23	Nokia	21.2-23.6	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 93 - 90 - 84 - 81
МИК-РЛ23Р	Микран, Россия	21,2...23,6	20, 23	QPSK	2 8 34	
Nateks-Mikrolink SDH	НТЦ Натекс, Россия	22.0-22.6 23.0-23.6	17	128 QAM	STM-1	- 70*

Galaxy 26	Harris, USA	24.3-26.5	19	32 TCM	STM-1	-76
MINI-LINK 26-C	Ericsson Швеция	24.3-26.5	10, 19	4FSK	2 4 8 16	- 88 - 85 - 82 - 79
MINI-LINK 26-E (Микро)  MINI-LINK 26-E	Ericsson Швеция	24.3-26.5	10, 18	C-QPSK	2 4 8 16 34	- 91 - 88 - 85 - 82 - 79
PASOLINK 26	NEC Япония	24.3-26.5	20 20 19 19	QPSK QPSK 16 QAM 16 QAM	4 8 8 x 2 16 x 2	- 90 - 87 - 82 - 79
PASOLINK <sup>+</sup> (26)	NEC Япония	24.3-26.5	17 14 16 19 19	32 MLCM 128 QAM (RS) 32 QAM (RS) 16 QAM (RS) 16 QAM (RS)	STM-1 STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 79.5 - 71 - 79.5 - 86 - 83
FlexyHopper 26	Nokia	24.3-26.5	18	$\pi/4$ DQPSK	2 x 2 4 x 2 8 x 2 16 x 2	- 92 - 89 - 86 - 83
Nateks-Mikrolink SDH	НТЦ Натекс, Россия	24.5-26.5	17	128 QAM	STM-1	- 70*
Перевал Перевал-2	ГРПЗ Россия	37-39.5	21, 25	-	2 8	- 73 - 70
Galaxy 38	Harris, USA	37-39.5	16.5	32 TCM	STM-1	-74.5
MINI-LINK 38-C	Ericsson Швеция	37-39.5	15	4FSK	2 4 8 16	- 87 - 81 - 78 - 75
MINI-LINK 38-E (Микро)  MINI-LINK 38-E	Ericsson Швеция	37-39.5	15	C-QPSK	2 4 8 16 34	-88 - 85 - 82 - 79 - 76
PASOLINK 38	NEC Япония	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 <sup>+</sup> (38)	NEC Япония	37-39.5	13.5 12.5 15.5 15.5	32 MLCM 32 QAM (RS) 16 QAM	STM-1 STM-0 8 x 2 16 x 2	- 78 - 78.5 - 85 - 82

				(RS) 16 QAM (RS)		
FlexyHopper 38	Nokia	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	НТЦ Натекс, Россия	37.0-39.5	15	128 QAM	STM-1	- 70*
Бист	Бист Россия	37-39.5	18	2PSK QPSK QPSK 8 PSK	2 8 34 51	- 87 - 84 - 75 - 69
Sandra-3	Россия	92-95	10	ОФМ-2	10	- 76

### Виды модуляции в цифровых системах связи

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

### 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 ( $k_{\text{ош}}=10^{-6}$ )	$\Delta f_m$
Двухпозиционная	ЧМ (2 ЧМ, FSK)	13.4	B
""	ФМ (2 ФМ, PSK)	10.5	B
Многопозиционная, классическая	4 ЧМ (4 FSK)	23.1	B/2
""	4 ФМ (4 PSK, QPSK)	13.5	B/2
""	8 ФМ (8 PSK)	18.8	B/3
""	16 КАМ (16 QAM)	20.5	B/4



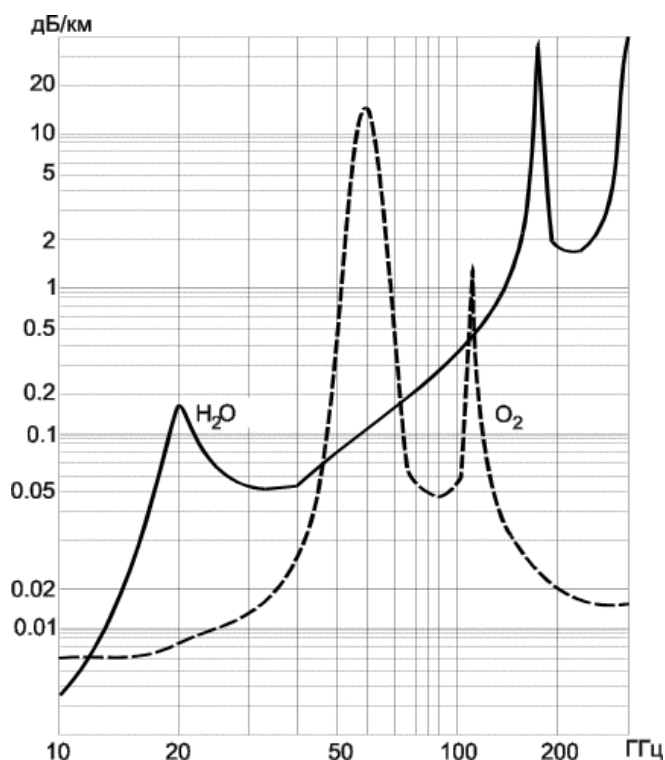
""	64 КАМ(64 QAM)	26.5	B/6
""	256 КАМ (256 QAM)	32.6	B/8
Классическая модуляция с предкоррекцией ошибок (FEC)	16 КАМ (16 QAM) с FEC	17.6	B(1+r)/4
""	64 КАМ(64 QAM) с FEC	23.8	B(1+r)/6
<b>Кодированная с расширением алфавита</b>	<b>32 TCM</b>	<b>17.6</b>	<b>B/4</b>
""	<b>128 TCM</b>	<b>23.6</b>	<b>B/6</b>
<b>Кодированная с увеличением скорости</b>	<b>16 MLCM</b>	<b>15.6</b>	<b>B/3.5</b>
""	<b>64 MLCM</b>	<b>21.7</b>	<b>B/5.5</b>

$\Delta f_m$  - полоса частот, занимаемая модулированным сигналом,  
 $B$  - скорость цифрового потока,  
 $r$  - избыточность по избыточному кодированию.

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

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

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2** Погонные потери радиосигнала в газах атмосферы



**ПРИЛОЖЕНИЕ 6** Интенсивность дождя, идущего с вероятностью 0.01%

Районы России	$J_{0.01}$ , мм/час
Карелия и Мурманская обл.	55
Архангельская обл	50
Ленинградская и Новгородская обл.	60

Центр европейской территории России	70
Северный Урал	45
Средний Урал, Пермская обл	80
Южный Урал и Приуралье	70
Прибайкалье, о. Сахалин	55
Юг европейской территории России	75
Северный Кавказ	100
Прикаспийская низменность	40
Западно-Сибирская низменность и Средне-Сибирское плоскогорье	55
Северо-Восток России	35
Прибайкалье и о. Сахалин	45
Камчатка	30

## **КРАТКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ РАБОЧИХ ЧАСТОТ**

В настоящее время освоен весьма широкий диапазон рабочих частот для целей микроволновой радиосвязи, начиная с диапазона 2 ГГц.

### **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 ГЛФ 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 зональных линий связи и различных ответвлений от магистральных систем. Отечественные 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 радиоволн, 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 кислорода (резонансные частоты поглощения равны 60 и 120 ГГц [1], рис. 9.36). Однако, в последние годы, появился интерес к этим диапазонам для создания безлицензионных радиосистем с пролетами протяженностью 1-2 км.

В условиях очень сухого климата, при малой вероятности осадков или на коротких пролетах, может использоваться диапазон частот 84-86 ГГц и выше В России имеется аппаратура на диапазон частот 93 ГГц.