

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

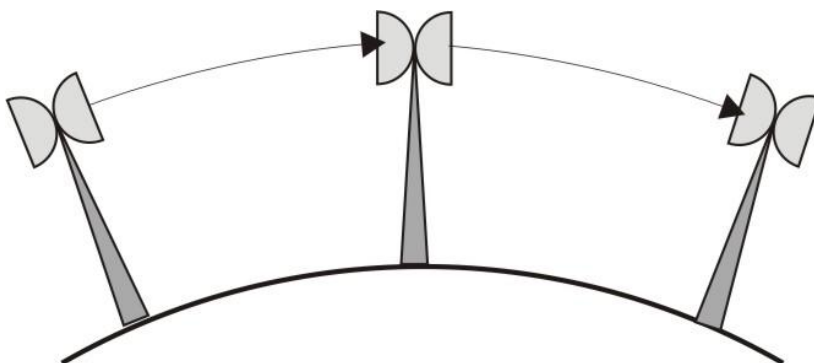
Радиотехнический факультет

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

Долгих Д.А.

Системы радиосвязи

Методические указания по выполнению контрольной работы



Томск 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ТОР
_____ Ворошилин Е.П.
« _ » _____ 2012 г.

Системы радиосвязи

Методические указания по выполнению контрольной работы

Разработчики:
доц каф. ТОР
_____ Д.А. Долгих

Оглавление

Задание на работу:	4
Список рекомендуемой литературы:	4
1. Расчет коэффициента неготовности интервала ЦРРЛ, обусловленного показателями надежности аппаратуры....	10
1.1 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ без применения резервирования (конфигурация 1+0)	10
1.2 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ при использовании постанционного резервирования (конфигурация 1+1)	11
2. Расчет потерь распространения радиосигнала в свободном пространстве	11
3. Расчет ослабления радиосигнала в атмосферных газах	12
4. Построение и анализ профиля радиорелейного интервала	13
4.1 Классификация трасс	14
4.2 Анализ трассы.....	15
5. Расчет запаса на замирания для «чистой» атмосферы ..	15
6. Расчет показателей качества, обусловленных влиянием дождей.....	16
Список использованных источников:	19
Приложение А	20
Приложение Б.....	21
Приложение В	23

Задание на работу:

1. Привести краткую характеристику используемой аппаратуры;
2. Определить коэффициент неготовности интервала ЦРРЛ, обусловленный показателями надежности аппаратуры;
3. Расчет потерь распространения сигнала в свободном пространстве;
4. Расчет ослабления радиосигнала в атмосферных газах;
5. Определить число пролетов;
6. Построить и проанализировать профиль радиорелейного интервала;
7. Рассчитать запас на замирания для «чистой атмосферы»;
8. Рассчитать показатели качества, обусловленные влиянием дождей;

Список рекомендуемой литературы:

1. ГОСТ Р.53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета. – М. Стандартинформ, 2010.
2. Справочник по радиорелейной связи, /под ред. Бородича С.В.- М.: Радио и связь, 1981
3. Радиорелейные линии: инженерно-технический справочник /под ред. Бородича С.В.-М.: Связь, 1970
4. Маглицкий Б.Н. Расчет качественных показателей цифровых радиорелейных линий: Методические указания по дипломному проектированию.- Новосибирск, СибГУТИ, 2003
5. Тимищенко М.Г. Проектирование радиорелейных линий – М.: Связь, 1976
6. Справочник по цифровым радиорелейным системам.- Женева. МСЭ. Бюро радиосвязи, 1996.
7. Системы связи и РРЛ / Калашиков Н.И., Меркадер Л.П., Тимищенко М.Г. – М.: Связь, 1977
8. Радиорелейные и спутниковые системы передачи /под ред. Немировского А.С. - М.: Радио и связь, 1986
9. Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи: курсовое проектирование. - М.: Радио и связь, 1987

Таблица 1 – Исходные данные

Исходные данные	Номера вариантов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Тип аппаратуры	МИК-РЛ7	Harris Eclipse 7	МИК-РЛ4Р+	Мик-РЛ1Р	Harris Globestar 13	МИК-РЛ18Р	МИК-РЛ4С	МИК-РЛ6С	TADIRAN	Флокс-4	
Диапазон частот, ГГц	7,25-7,55	7,5	3,7-4,2	10,7-11,7	12,7-13,2	17,7-19,7	3,7-4,2	5,92-6,42	15	3,6-4,2	
Мощность сигнала на выходе прд, дБм	28	20	28	19	26	19	24	24	16	20	
Пороговый уровень сигнала, дБм при BER= 10 ⁻⁶	-88	-85,5	-88	-81	-	118,5	-91	-68	-68	-82,5	--86
Реальная чувствительность антенны, дБм	-85	-81,5	-85	-78	-114	-88	-64	-64	-79,5	-83	
Диаметр антенны, м	1,0	1,2	1,8	1,0	0,6	0,6	1,8	1,0	0,6	1,2	
Коэффициент усиления передатчика антенны, дБ	35	37	34	39	35,7	38	34	31	36,3	31	
Потери ВАФТ передатчика, дБ	-	5,3	-	-	0,06	-	-	-	0,6	-	
Потери в АВТ приемника, дБ	-	5,4	-	-	0,06	-	-	-	0,6	-	
Скорость передачи, Мбит/с	8	32	9,8	37	4	2	155,5 2	155,5 2	32	34	
Конфигурация системы	1+0	1+1	1+0	2+0	2+0	1+1	1+1	1+0	2+0	1+1	
Модуляция	QPS К	QA M-4	QA M-16	QPS К	QPS К	QPS К	QAM -128	QAM -128	QA M-4	QA M-64	
Длина пролета, км	30	45	15	40	50	25	30	35	25	55	

Продолжение таблицы 1

Исходные данные	Номера вариантов									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип аппаратуры	Ericsson Mini	МИК-РЛ1С	ФЛОКС-лайт	Мик-РЛ15Р+	NEC-700	МИК-РЛ15С	MLink-G-L	МИК-РЛ25Р+	МИК-РЛ7РМ	МИК-РЛ40Р+
Диапазон частот, ГГц	7,9-8,4	10,7 - 11,7	1,7-2,69	14,4 - 15,35	10,7 - 11,7	14,5 - 15,35	13	25,25-27,5	7,25 - 7,55	39,5 - 40,5
Мощность сигнала на выходе прд, дБм	26	26	20	26	30	21	25	18	30	18
Пороговый уровень сигнала, дБм при BER= 10 ⁻⁶	-76	-72	-90	-84	-74	-67	-90,5	-69	-92	-76
Реальная чувствительность антенны, дБм	-72	-68	-86	-80	-71	-64	-87,5	-65	-88	-72
Диаметр антенны, м	0,6	1,8	1,0	0,6	1,8	1,0	1,8	0,6	1,0	0,3
Коэффициент усиления передатчика антенны, дБ	32	41	29	36	44	41	45	40	35	39
Потери вАФТ передатчика, дБ	0,5	-	-	-	0,095	-	-	-	-	-
Потери в АВТ приемника, дБ	0,5	-	-	-	0,095	-	-	-	-	-
Скорость передачи, Мбит/с	8	155,52	2	19,6	140	155,52	4	117,6	9,8	19,6
Конфигурация системы	1+0	1+1	1+1	2+0	3+0	1+0	1+0	1+1	2+0	1+0
Модуляция	QP SK	QA M-64	OQP SK	QA M-16	QA M-16	QA M-128	QA M-4	QA M-64	QP SK	QA M-16
Длина пролета, км	40	15	80	25	30	20	30	35	40	25

Таблица 2 – Параметры распределения эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха.

Климатический район (Номер варианта)	Летние месяцы		Зимние месяцы	
	$\bar{g}, 10^{-8} \text{ м}^{-1}$	$\sigma, 10^{-8} \text{ м}^{-1}$	$\bar{g}, 10^{-8} \text{ м}^{-1}$	$\sigma, 10^{-8} \text{ м}^{-1}$
1) Северо-запад ЕТР*(Кольский полуостров, Карелия), а также Прибалтика и Республика Беларусь Северовосток ЕТР (Архангельская область, республика Коми)	-9	7	-8	3
			-10	5
2) Центральные районы ЕТР*	-10	8	-8	5
3) Юго-запад ЕТР* (Курская и Воронежская области), а также прилегающая территория Украины	-9	7,5	-7	3,5...4
4) Степные районы Поволжья, Дона, Краснодарского и Ставропольского краев	-8	8,5	-7	4,5...5,5
5) Восточные районы средней полосы ЕТР* (Башкирия, Пермский край)	Область повышенной рефракции		-9	6
	0	16		
	Область субрефракции			
	-9	7		
6) Оренбургская область и прилегающие	-6	7	-9	3,5...4

районы Юго-Востока ЕТР*				
7) Районы Прикаспийской низменности	-13	10	-12	6,5
8) Степная полоса Южной Сибири и Казахстана	-7	9	-15	5,5
9) Средняя полоса Западно-Сибирской низменности	-10	9		
10) Восточная Сибирь (Якутия, Красноярский край)	-7	9	-15	6,5
11) Прибайкалье (прибрежные районы)	-8	8	-9	4,5
12) Забайкалье (континентальные районы)	-(6...10)	10	-(10...12)	7...8
13) Приамурье, Приморье, Сахалин	-11	8,5	-8	3,5
14) Субарктический пояс Сибири	-7	7	-15	6
15) Черноморское побережье Кавказа	Область повышенной рефракции		-10	5,5
	-(10..11)	9...10		
	Область субрефракции			
	-10	6		
16) Камчатка	-8,5	5,8	-	+
*Европейская территория России				

Таблица 3 – Высотные отметки точек профиля пролета $y(K_i)$

Последние цифры номера студенческого билета					Относительная координата $K_i = \frac{R_i}{R_0}$										
					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	73	63	76	74	72	65	57	63	76	89	103
01	21	41	61	81	73	60	72	71	70	66	58	57	68	83	98
02	22	42	62	82	73	57	68	68	66	65	61	55	61	77	93
03	23	43	63	83	73	55	62	65	63	63	61	56	56	70	88
04	24	44	64	84	73	54	56	61	59	60	57	53	63	63	83
05	25	45	65	85	73	53	55	55	55	56	57	52	57	67	78
06	26	46	66	86	73	53	43	47	50	50	52	55	52	51	73
07	27	47	67	87	73	54	38	44	46	47	51	51	47	47	68
08	28	48	68	88	73	54	36	29	35	40	42	47	49	42	63
09	29	49	69	89	73	54	36	23	24	32	37	42	46	39	58
10	30	50	70	90	74	63	90	89	86	72	55	60	77	91	105
11	31	51	71	91	74	59	85	86	85	78	61	54	67	84	100
12	32	52	72	92	74	55	79	83	81	79	68	54	58	77	95
13	33	53	73	93	74	52	70	79	78	77	73	60	53	69	90
14	34	54	74	94	74	50	61	74	74	74	74	65	52	61	85
15	35	55	75	95	74	50	50	66	70	70	71	68	54	54	80
16	36	56	76	96	74	51	41	55	64	65	67	68	57	48	75
17	37	57	77	97	74	53	55	35	41	55	60	62	66	59	70
18	38	58	78	98	74	55	33	28	42	54	57	61	60	40	65
19	39	59	79	99	74	56	35	20	26	44	52	57	59	38	60

1. Расчет коэффициента неготовности интервала ЦРРЛ, обусловленного показателями надежности аппаратуры

1.1 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ без применения резервирования (конфигурация 1+0)

Расчет проводится в соответствии [1]. В зависимости от конструктивного оформления радиорелейного оборудования распределяют узлы ЦРРС по двум группам: Гр1 – узлов, работающих вне помещения (на открытом воздухе), и Гр2 – узлов, работающих в помещении (аппаратной).

1) Проводится расчет наработки на отказ узлов, входящих в каждую группу $T_{грj}$.

$$T_{грj} = (T_1^{-1} + T_2^{-1} + \dots + T_i^{-1})^{-1}, \quad (1.1)$$

где T_i - средняя наработка на отказ i -го узла j -й группы, $j=1,2$ (см. техническую документацию оборудования).

2) Проводится расчет коэффициента аппаратурной неготовности для каждой группы с учетом своего значения.

$$K_{нег.анн1} = \frac{T_{в1зр1}}{T_{зр1}}, \quad (1.2)$$

$$K_{нег.анн2} = \frac{T_{в1зр2}}{T_{зр2}}. \quad (1.3)$$

где $T_{вjзрj}$ - среднее время восстановления работоспособности узла, ч.

Значения $T_{в1зр1}$ оцениваются предварительно для каждой группы.

3) Коэффициент для одной станции ЦРРС1 рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{нег.анн(ЦРРС1)} = K_{нег.анн1} + K_{нег.анн2}. \quad (1.4)$$

4) Рассчитывается значение коэффициента для интервала:

$$K_{нег.анн} = K_{нег.анн(ЦРРС1)} + K_{нег.анн(ЦРРС2)}. \quad (1.5)$$

1.2 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ при использовании постанционного резервирования (конфигурация 1+1)

Расчет проводится в следующем порядке:

- 1) Распределяются узлы по категориям:
 - 1 – нерезервируемые узлы – нрб;
 - 2 – резервируемые узлы – рб.
- 2) Выполняется действия в соответствии с формулами (1.1)-(1.3)
- 3) Рассчитывается коэффициент аппаратурной неготовности с учетом работы системы резервирования:

$$K_{нег.апп(ЦРРС1)} = K_{нег.апп1(нрб)} + K_{нег.апп2(нрб)} + (K_{нег.апп1(рб)} + K_{нег.апп2(рб)})^2 \quad (1.6)$$
- 4) Выполняются действия аналогично с пунктами 1) - 3) для ЦРРС2.

5) По формуле (1.5) рассчитывается значение $K_{нег.апп}$ – коэффициента аппаратурной неготовности интервала.

При кратности резервирования, отличной от (1+1), значение коэффициента аппаратурной неготовности интервала $K_{нег.апп}$ рассчитывается по формулам:

- для конфигурации (2+1):

$$K_{нег.апп} = K_{нег.(нрб)} + 1,5 (K_{нег.(рб)})^2; \quad (1.7)$$

- для конфигурации (3+1):

$$K_{нег.апп} = K_{нег.(нрб)} + 2 (K_{нег.(рб)})^2; \quad (1.8)$$

- для конфигурации (7+1):

$$K_{нег.апп} = K_{нег.(нрб)} + 4 (K_{нег.(рб)})^2; \quad (1.9)$$

- для конфигурации (5+2):

$$K_{нег.апп} = K_{нег.(нрб)} + 7 (K_{нег.(рб)})^3; \quad (1.10)$$

2. Расчет потерь распространения радиосигнала в свободном пространстве

Потери распространения радиосигнала L_0 , дБ, в свободном пространстве на интервале длиной R , км, при частоте радиосигнала f , ГГц, рассчитывают по формуле согласно [1]:

$$L_0 = 92,45 + 20 \lg(f) + 20 \lg(R). \quad (2.1)$$

3. Расчет ослабления радиосигнала в атмосферных газах

Расчет проводится в соответствии [1].

В соответствии с заданным климатическим районом, в которой располагается интервал ЦРРЛ, определяется наибольшее (июль, август) среднемесячное значение согласно [2]:

- температуры воздуха t , °С;
- атмосферного давления p , мбар;
- плотности водяного пара (абсолютной влажности воздуха) ρ , г/м³.

Рассчитывается удельное ослабление радиосигнала в кислороде воздуха, дБ/км, по формуле:

$$\gamma_0 = \left[\frac{7,2 \cdot r_t^{2,8}}{f^2 + 0,34 \cdot r_p^2 r_t^{1,6}} + \frac{0,62 \cdot \xi_3}{(54 - f)^{1,16 \cdot \xi_1} + 0,83 \cdot \xi_2} \right] \cdot f^2 \cdot r_p^2 \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

где f измеряется в ГГц, $r_p = p/1013$, $r_t = 288/(273 + t)$;

$$\begin{aligned} \xi_1 &= r_p^{0,717} \cdot r_t^{-1,8132} \cdot \exp[0,0156(1 - r_p) - 1,6515 \cdot (1 - r_t)]; \\ \xi_2 &= r_p^{0,5146} \cdot r_t^{-4,6368} \cdot \exp[-0,1921(1 - r_p) - 5,7416 \cdot (1 - r_t)]; \\ \xi_3 &= r_p^{0,3414} \cdot r_t^{-6,585} \cdot \exp[0,2130(1 - r_p) - 8,5854 \cdot (1 - r_t)]. \end{aligned}$$

Рассчитывается удельное сопротивление радиосигнала в водяном паре γ_{H_2O} , дБ/км, по формуле:

$$\begin{aligned} \gamma_{H_2O} = & \left\{ \frac{3,98 \cdot \eta_1 \cdot \exp[2,23(1 - r_t)]}{(f - 22,235)^2 + 9,42\eta_1^2} \cdot g(f, 22) + \frac{11,96 \cdot \eta_1 \cdot \exp[0,7(1 - r_t)]}{(f - 183,31)^2 + 11,14\eta_1^2} \right. \\ & + \frac{0,081 \cdot \eta_1 \cdot \exp[6,44(1 - r_t)]}{(f - 321,226)^2 + 6,29\eta_1^2} + \frac{3,66 \cdot \eta_1 \cdot \exp[1,6(1 - r_t)]}{(f - 325,153)^2 + 9,22\eta_1^2} \\ & + \frac{25,37 \cdot \eta_1 \cdot \exp[1,09(1 - r_t)]}{(f - 380)^2} + \frac{17,4 \cdot \eta_1 \cdot \exp[1,46(1 - r_t)]}{(f - 448)^2} \\ & + \frac{844,6 \cdot \eta_1 \cdot \exp[0,17(1 - r_t)]}{(f - 557)^2} \cdot g(f, 557) \\ & + \frac{290 \cdot \eta_1 \cdot \exp[0,41(1 - r_t)]}{(f - 752)^2} \cdot g(f, 752) \\ & \left. + \frac{8,3328 \cdot \eta_2 \cdot \exp[0,99(1 - r_t)]}{(f - 1780)^2} \cdot g(f, 1780) \right\} \times f^2 \cdot \rho \cdot r_t^{2,5} \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

где $\eta_1 = 0,995 \cdot r_p \cdot r_t^{0,68} + 0,006 \cdot \rho$;

$\eta_2 = 0,735 \cdot r_p \cdot r_t^{0,5} + 0,0353 \cdot \rho \cdot r_t^4$;

$$g(f, f_i) = 1 + \left(\frac{f - f_i}{f + f_i} \right)^2.$$

Рассчитывается ослабление в атмосферных газах A_a , дБ, на интервале ЦРРЛ длиной R , км, по формуле:

$$A_a = (\gamma_0 + \gamma_{H_2O})R. \quad (3.2)$$

4. Построение и анализ профиля радиорелейного интервала

Построение и анализ профиля радиорелейного интервала производят в порядке указанном ниже в соответствии с [1].

Рассчитывается эквивалентный радиус Земли a_3 , м,

$$a_3 = \frac{6370000}{1 - 3185000 \cdot g}, \quad (4.1)$$

где g - значение эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха, 1/м.

Рассчитывается линию условного нулевого уровня на интервале длиной:

$$y = \frac{R^2}{2 \cdot a_3} \cdot K_i(1 - K_i), \quad (4.2)$$

где $K_i = R_i/R$ - относительная координата текущей i -ой точки;

R_i - расстояние до текущей точки, м.

Используя множество значений из таблицы, наносятся высотные отметки рельефа местности относительно условного нулевого уровня. Соединяя высотные отметки отрезками линий, строится профиль рельефа местности.

В соответствии с заданными высотами антенн h_1, h_2 , ставятся на точках 0 и R соответствующие высоты антенн относительно профиля местности и соединяются прямой линией.

Определяется просвет трассы $H(g)$, как минимальная разность высот между профилем радиорелейного интервала и прямой, соединяющей центры левой и правой антенн, с высотами h_1, h_2 соответственно [3]:

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g), \quad (4.3)$$

где $H(0)$ - значение просвета при отсутствии рефракции, определяемое из профиля местности;

$\Delta H(g)$ – приращение просвета при изменении g .

$$\Delta H(g) = -\frac{R^2}{4} \cdot g \cdot K_{mp} \cdot (1 - K_{mp}), \quad (4.4)$$

где K_{mp} - относительная координата наивысшей точки профиля пролета.

При прохождении трассы над водной поверхностью или же при отсутствии профиля местности значение просвета трассы H и расстояние до определяющей его точки рассчитывается по формулам [1]:

$$H = \frac{\left(h_1 - \frac{R_1^2}{2 \cdot a_3} \right) \cdot R_2 + \left(h_2 - \frac{R_2^2}{2 \cdot a_3} \right) \cdot R_1}{R_1 = \frac{R(1+b)}{2}}, \quad (4.5)$$

где $R_2 = R - R_1$;

$$b = 2 \cdot \sqrt{\frac{m+1}{2m}} \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left[3 \frac{c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right] \right);$$

$$m = \frac{R^2}{4a_3[h_2 + h_1]}; \quad c = \frac{h_1 - h_2}{h_2 + h_1}.$$

4.1 Классификация трасс

В зависимости от величины просвета интервалы подразделяются на следующие:

1) Открытые, для которых $H > H_0$, где H_0 , м, соответствует радиусу минимальной зоны Френеля:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\lambda \cdot R_1 \cdot (R - R_1)}{R}} = \sqrt{\frac{1}{3} \lambda \cdot R \cdot K_{mp} (1 - K_{mp})}. \quad (4.6)$$

2) Полуоткрытые, для которых $H_0 \geq H > 0$;

3) Закрытые, для которых $H < 0$.

Определяют относительный просвет на трассе:

$$p(g) = H(g)/H_0 \quad (4.7)$$

4.2 Анализ трассы

Под анализом трассы понимается процедура определения такого значения g из диапазона его возможных значений, при котором трасса переходит из открытой в полуоткрытую. При этом выделяется два поддиапазона, один из которых соответствует условиям, когда трасса не будет открытой (поддиапазон О), то есть либо полуоткрытой, либо закрытой (поддиапазон ПЗ) [1].

1) Определяется нижняя и верхняя границы диапазона возможных изменений g , м⁻¹, как $g_n = \max_{g_{\text{крит}}, g - 4,3\sigma}$ и $g_в = g + 4,3\sigma$ соответственно, где g и σ – среднее значение и среднеквадратическое значение отклонение эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха, $g_{\text{крит}} = -31,4 \cdot 10^{-4}$ (критическая рефракция).

2) Для условий средней рефракции с помощью приведенных выше процедур строят профиль интервала и проводится классификация трассы. Значение $H(g) \leq 0$ означает, что трасса выбрана некорректно и следует увеличить высоту подвеса антенн либо выбрать другую трассу.

3) При $H(g) > 0$ определяет граничное значение $g_z (H(g_z) = H_0)$:

$$g_z = g - 4 \frac{H_0 - H(g)}{R^2 K (1 - K)}. \quad (4.8)$$

4) Если значение g_z принадлежит диапазону $(g_n, g_в)$, то оно определяет поддиапазоны О и ПЗ как (g_n, g_z) и $(g_z, g_в)$ соответственно.

5) Если значение g_z не принадлежит диапазону $(g_n, g_в)$, то:

при $H(g) < H_0$ поддиапазон О = \emptyset и при всех возможных значениях g трасса не будет открытой, то есть ПЗ = $(g_n, g_в)$;

при $H(g) > H_0$ поддиапазон ПЗ = \emptyset и при всех возможных значениях g трасса будет открытой, то есть О = $(g_n, g_в)$.

5. Расчет запаса на замириания для «чистой» атмосферы

1) Расчет ослабления $L_{\text{атм}}$, дБ:

$$L_{\text{атм}} = L_0 + A_a \quad (5.1)$$

2) Расчет мощности сигнала на входе приемника $P_{\text{ПРМ}}$, дБВт, по формуле:

$$P_{ПРМ} = P_{ПРД} + G_{ПРД} + G_{ПРМ} - L_{Ф.ПРД} - L_{Ф.ПРМ} - L_{атм}. \quad (5.2)$$

3) Расчет запаса на тепловые замирания F_m , дБ;

$$F_m = P_{ПРМ} - P_{ПРМ_{реал}}, \quad (5.3)$$

6. Расчет показателей качества, обусловленных влиянием дождей

При дождях высокой интенсивности ослабление сигнала СВЧ возрастает до такой степени, что необходимый для качественной работы радиолинии уровень сигнала перестает обеспечиваться. Это приводит к резкому увеличению коэффициента ошибок и связь прерывается.

Показатели качества, обусловленные влиянием дождей, рассчитывают в следующем порядке согласно [1]:

1) Рассчитать интенсивность $J_{д1}$, мм/ч:

$$J_{д1} = \xi \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot \text{Ш}^{-2} (\text{Д} + 25)^{-0,3}, \quad (6.1)$$

где ξ – коэффициент, учитывающий особенности различных территорий (см. прил. В);

$\text{Д}(\text{Ш})$ – долгота (широта) середины интервала, град.

2) Определить погонное затухание сигнала в дожде, дБ/км, с интенсивностью $J_{д1}$ [6]:

$$\gamma = K(J_{д1})^\alpha, \quad (6.2)$$

где K, α – коэффициенты:

$$K = [K_H + K_V + (K_H - K_V)\cos 2\tau]/2, \quad (6.3)$$

$$\alpha = [K_H \alpha_H + K_V \alpha_V + (K_H \alpha_H - K_V \alpha_V)\cos 2\tau]/2K, \quad (6.4)$$

τ – угол наклона вектора поляризации волны относительно горизонта, рад, для вертикальной, горизонтальной и круговой поляризации принимается равным $\pi/2, 0, \pi/4$, соответственно. Значения параметров $K_{H,V}$ и $\alpha_{H,V}$ рассчитываются согласно выражением:

$$K_{H,V}, q = 10^q, q = \sum_{j=1}^4 \left(a_j \exp \left[- \left[\frac{\lg(f) - b_j}{c_j} \right]^2 \right] \right) + m \cdot \lg(f) + n, \quad (6.5)$$

$$\alpha_{H,V} = \sum_{j=1}^5 \left(a_j \exp \left[- \left[\frac{\lg(f) - b_j}{c_j} \right]^2 \right] \right) + m \cdot \lg(f) + n, \quad (6.6)$$

коэффициенты для которых приведены в табл. 6.1-6.4

Таблица 6.1 – Коэффициенты для вычислений K_H [6].

j	a_j	b_j	c_j	m	n
1	-5,33980	-0,10008	1,13098	-0,18961	0,71147
2	-0,35351	1,26970	0,45400		
3	-0,23789	0,86036	0,15354		
4	-0,94158	0,64552	0,16817		

Таблица 6.2 – Коэффициенты для вычислений K_V [6]

j	a_j	b_j	c_j	m	n
1	-3,80595	0,56934	0,81061	-0,16398	0,63297
2	-3,44965	-0,22911	0,51059		
3	-0,39902	0,73042	0,11899		
4	-0,50167	1,07319	0,27195		

Таблица 6.3 – Коэффициенты для вычислений α_H [6]

j	a_j	b_j	c_j	m	n
1	-0,14318	1,82442	-0,55187	0,67849	-1,95537
2	0,29591	0,77564	0,19822		
3	0,32177	0,63773	0,13164		
4	-5,37610	-0,96230	1,47828		
5	16,1721	-3,29980	3,43990		

Таблица 6.4 – Коэффициенты для вычислений α_H [6]

j	a_j	b_j	c_j	m	n
1	-0,07771	2,33840	-0,76284	-0,053739	0,83433
2	0,56727	0,95545	0,54039		
3	-0,20238	1,14520	0,26809		
4	-48,2991	0,791669	0,116226		
5	48,5833	0,791459	0,116479		

3) Определяется вспомогательный параметр B_1 :

$$B_1 = \lg[0,19J_{д1}]. \quad (6.7)$$

4) Определяется энергетический параметр интервала:

$$E = \alpha B_1 + \lg(\bar{F}/(\gamma R)). \quad (6.8)$$

Рассчитывается вспомогательный параметр B_2 , соответствующий интенсивности дождя, определяющий переход интервала в состояние неготовности:

$$B_2 = B_1 \cdot \sum_{i=1}^6 A_i E^i. \quad (12.9)$$

где $A_1 = (\alpha B_1 - \varepsilon_1)^{-1}$;

$$A_2 = \varepsilon_1 A_1^3;$$

$$A_3 = [2\varepsilon_2^2 + (\alpha B_1 - \varepsilon_1)\varepsilon_3]A_1^5;$$

$$A_4 = [5(\alpha B_1 - \varepsilon_1)\varepsilon_2\varepsilon_3 + (\alpha B_1 - \varepsilon_1)^2\varepsilon_4 + 5\varepsilon_3^2]A_1^7;$$

$$A_5 = [6(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^2\varepsilon_2\varepsilon_4 + 3(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^2\varepsilon_3^2 + 14\varepsilon_2^4 + (\alpha B_1 - \varepsilon_1)^3\varepsilon_5 + 21(\alpha B_1 - \varepsilon_1)\varepsilon_2^2\varepsilon_3]A_1^9;$$

$$A_6 = \left[7(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^3\varepsilon_2\varepsilon_5 + 7(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^3\varepsilon_3\varepsilon_4 + 42\varepsilon_2^5 + (\alpha B_1 - \varepsilon_1)^4\varepsilon_6 + \right. \\ \left. + 84(\alpha B_1 - \varepsilon_1)\varepsilon_3^3\varepsilon_3 + 28(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^2\varepsilon_3^2\varepsilon_2 + 28(\alpha B_1 - \varepsilon_1)^2\varepsilon_2^2\varepsilon_4 \right] A_1^{11};$$

$$\varepsilon_1 = 0,43429\Psi;$$

$$\varepsilon_2 = 0,43429\Psi \ln(d) - 0,217145\Psi^2;$$

$$\varepsilon_3 = 0,217145\Psi^2 \ln^2(d) - 0,43429\Psi^2 \ln(d) + 0,144763\Psi^3;$$

$$\varepsilon_4 = 7,28316 \cdot 10^{-2} \cdot \Psi \ln^3(d) - 0,43429\Psi^2 \ln^2(d) + 0,43429\Psi^3 \ln(d) + 0,10857\Psi^4;$$

$$\varepsilon_5 = 1,80954 \cdot 10^{-2} \cdot \Psi \ln^4(d) - 0,28953\Psi^2 \ln^3(d) + 0,65143\Psi^3 \ln^2(d) -$$

$$- 0,43429\Psi^4 \ln(d) + 8,68581 \cdot 10^{-2} \cdot \Psi^5;$$

$$\varepsilon_6 = 3,61908 \cdot 10^{-3} \cdot \Psi \ln^5(d) - 0,14476\Psi^2 \ln^4(d) + 0,65143\Psi^3 \ln^3(d) -$$

$$- 0,8686\Psi^4 \ln^2(d) + 0,43429\Psi^5 \ln(d) + 7,28316 \cdot 10^{-2} \cdot \Psi^6;$$

$$d = R^{0,545B_1};$$

$$\Psi = 3,5088 \cdot 10^{-2} B_1 R^{0,33}.$$

5) Определяется параметр $AS_{д}$, %:

$$AS_{д} = 10^{-[2+2(B_2-B_1)+0,2387|B_2-B_1|^{2,5682}]}. \quad (12.10)$$

6) Определить коэффициент неготовности, %, обусловленный дождями, согласно выражению:

$$K_{\text{нег.д.}} = \begin{cases} AS_{д} & AS_{д} \geq 3,2 \cdot 10^{-5} \\ 0 & AS_{д} < 3,2 \cdot 10^{-5} \end{cases} \quad (12.11)$$

7) Вычислить дождевую составляющую коэффициента

сильнопораженных секунд ($SESR_{д}$, %) согласно выражению:

$$SESR_{д} = \begin{cases} AS_{д} \cdot Q & AS_{д} < 3,2 \cdot 10^{-5} \\ 0 & AS_{д} \geq 3,2 \cdot 10^{-5} \end{cases} \quad (12.12)$$

где значение коэффициента Q рассчитывается по формуле:

$$Q = 0,1227 \cdot \Pi^{0,7456} \cdot D^{0,1140} \cdot AS_{д}^{-0,1227}. \quad (12.13)$$

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р.53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета. – М. Стандартинформ, 2010.
2. Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР. – М.: Гидрометеиздат, 1985.
3. Василенко Г.О., Милютин Е.Р. Расчет показателей качества и готовности цифровых радиорелейных линий связи. – СПб.: Издательство «Линк», 2007.
4. Рек. МСЭ-Р F.699-6. Эталонные диаграммы излучения антенн фиксированных беспроводных систем для использования при изучении вопросов координации и оценке помех в диапазоне частот от 100 МГц до примерно 70 ГГц.
5. Рек. МСЭ-Р P.530-10. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости.
6. Рек. МСЭ-Р P.838. Модель удельного затухания радиоволн в дожде, используемая в методах прогнозирования.
7. Рек. МСЭ-Р F.1668. Показатели качества по ошибкам для реальных цифровых фиксированных беспроводных линий, используемых в гипотетических эталонных трактах и соединениях протяженностью 27500 км.
8. Рек. МСЭ-Р F.1493. Показатели готовности для реальных цифровых радиорелейных линий, образующих часть национального участка цифрового тракта протяженностью 27500 км с постоянной скоростью передачи, равной или превышающей первичную.

Приложение А

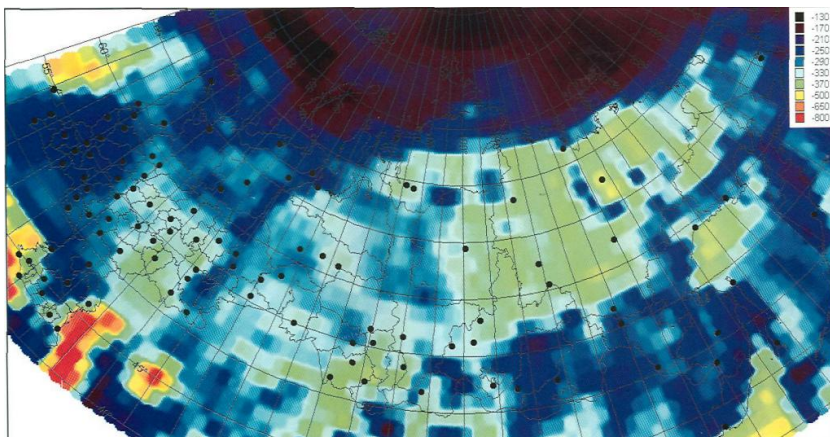


Рис. А.1 – Распределение градиента преломляющей способности
нижнего слоя атмосферы.

Приложение Б

Таблица Б.1 – Параметр неровности местности (s_a) для регионов РФ.

№	Регион	s_a , м	№	Регион	s_a , м
1	Республика Адыгея	443	48	Липецкая область	33
2	Республика Башкортостан	189	49	Магаданская область	333
3	Республика Бурятия	442	50	Московская область	38
4	Республика Горный Алтай	689	51	Мурманская область	105
5	Республика Дагестан	1067	52	Нижегородская область	35
6	Ингушская Республика	581	53	Новгородская область	65
7	Кабардино-Балкарская Республика	1067	54	Новосибирская область	43
8	Республика Калмыкия	50	55	Омская область	21
9	Карачаево-Черкесская Республика	720	56	Оренбургская область	88
10	Республика Карелия	69	57	Орловская область	29
11	Республика Коми	126	58	Пензенская область	45
12	Республика Мари Эл	38	59	Пермская область	112
13	Мордовская Республика	43	60	Псковская область	50
14	Республика Саха (Якутия)	374	61	Ростовская область	50
15	Северо-Осетинская Республика	973	62	Рязанская область	28
16	Республика Татарстан	57	63	Самарская область	56
17	Республика Тува	511	64	Саратовская область	72
18	Удмуртская Республика	45	65	Сахалинская область	205
19	Республика Хакасия	435	66	Свердловская область	139
20	Чеченская Республика	665	67	Смоленская область	26
21	Чувашская Республика	41	68	Тамбовская область	23
22	Алтайский край	225	69	Тверская область	45
23	Краснодарский Край	389	70	Томская область	34
24	Красноярский Край	286	71	Тульская область	29
25	Приморский Край	310	72	Тюменская область	29
26	Ставропольский Край	179	73	Ульяновская область	77
27	Хабаровский Край	402	74	Челябинская область	135
28	Амурская область	311	75	Читинская область	318
29	Архангельская область	59	76	Ярославская область	30
30	Астраханская область	15	77	Еврейская Авт. область	182

Окончание таблицы Б.1

31	Белгородская область	37	78	Агинский Бурятский Авт. Округ	173
32	Брянская область	28	79	Коми-Пермяцкий Авт. Округ	36
33	Владимирская область	33	80	Корякский Авт. Округ	292
34	Волгоградская область	59	81	Ненецкий Авт. Округ	60
35	Вологодская область	37	82	Таймырский Авт. Округ	226
36	Воронежская область	38	83	Усть-Ордынский Бурятский Авт. Округ	145
37	Ивановская область	21	84	Ханты-Мансийский Авт. Округ	78
38	Иркутская область	337	85	Чукотский Авт. Округ	271
39	Калининградская область	43	86	Эвенкийский Авт. Округ	220
40	Калужская область	29	87	Ямало-Ненецкий Авт. Округ	74
41	Камчатская область	415	88	Брестская область	21
42	Кемеровская область	186	89	Витебская область	26
43	Кировская область	40	90	Гомельская область	14
44	Костромская область	31	91	Гродненская область	34
45	Курганская область	29	92	Минская область	38
46	Курская область	31	93	Могилевская область	23
47	Ленинградская область	60			

Приложение В

Таблица В.1 – Коэффициент интенсивности дождя.

Территория	ξ
Юго-восточная зона Республики Калмыкии, Астраханская область	0,5
Республика Калмыкия (кроме юго-восточной зоны), Волгоградская Ростовская, Саратовская области	0,65
Камчатская область, Корякский Автономный округ	0,7
Сахалинская область	0,8
Республика Дагестан	0,85
Республики Башкортостан, Марий Эл, Татарстан, Удмуртская, Чувашская; Кировская, Магаданская, Оренбургская, Пермская, Самарская, Свердловская, Ульяновская, Челябинская области; Коми-Пермяцкий Автономный округ	0,9
Республика Адыгея, Крачаево-Черкесская Республика; Краснодарский край, Ставропольский край, Белгородская, Воронежская, Курская, Орловская области	0,95
Республики Бурятия, Саха(Якутия); Иркутская, Новосибирская, Омская, Томская, Читинская области; Агинский Бурятский Автономный округ, Усть- Ордынский Бурятский Автономный округ, Эвенкийский Автономный округ; Брестская и Гомельская области	1,05
Черноморское побережье Кавказа (г. Анапа, Новороссийск, Гелснджик, Туапсе, Сочи); Ямало-Ненецкий Автономный округ	1,2
Приморский край, Хабаровский край, Амурская область, Еврейская Автономная область	1,5
На остальных территориях	1,0