

УДК 621.396.43

Я.В. Чернов

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ

Рассматривается метод уточнения методики расчета устойчивости работы интервалов цифровых РРЛ в условиях интерференционных замираний. Предлагается использование медианного множителя ослабления, полученную экспериментально формулу для оценки статистики таких замираний. Показывается преимущество использования данного метода при проектировании высокогорных трасс.

Введение. Цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ) со дня своего появления заняли прочные позиции в технике связи. Отчасти благодаря своей эффективности они используются в качестве магистральных, соединительных линий в сотовых сетях.

ЦРРЛ разрабатывались на основе аналоговых РРЛ, следовательно, общие принципы проектирования аналоговых справедливы и для цифровых. Но с появлением последних возникли споры о правильности подхода к их проектированию, т.е. к расчету качественных показателей. Поэтому сегодня нет единого мнения об однозначности расчета параметров устойчивости.

Разработаны две методики: «Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазонах частот 2–20 ГГц (далее - Методика), разработанной ЗАО Инженерный центр совместно с НИИР в 1998 г.»; «Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости», разработанной НИИР в 1987 г.»

Обе методики позволяют производить расчет трасс РРЛ в диапазонах частот выше 1 ГГц. Их достоинством является учет реальных радиоклиматических характеристик России и стран СНГ. Но выше отмеченные методики не позволяют проводить точный расчет трассы для высокогорной местности, из-за отсутствия медианного множителя ослабления.

Цель работы. Показать, что на основании использования двухлучевой статистической модели распространения радиосигнала требуется учитывать при расчетах устойчивости цифровых РРЛ медианный множитель ослабления сигнала и его статистические распределения.

Описание методики расчета. В декабре 1998 г. Методика была обсуждена и одобрена на секции научно-технического совета Госкомсвязи России и рекомендована для использования все-

ми проектными организациями Российской Федерации. Она включает следующие основные разделы [1].

1. Нормируемые значения показателей качества цифровых трактов ЦРРЛ, определяемые Рекомендациями МСЭ-Р и МСЭ-Т, характеризующие устойчивость и неготовность цифровых трактов как для вновь проектируемых, так и реконструируемых ЦРРЛ.

2. Метод расчета устойчивости, обусловленной влиянием многолучевости при интерференционных замираниях сигнала как при одиарном приеме, так и с учетом пространственно-разнесенного приема (ПРП) и частотно-разнесенного приема (ЧРП). Он основан на физической модели распространения радиоволн со статистическими параметрами и позволяет учитывать одновременное воздействие выбросов теплового шума и межсимвольных искажений. Влияние многолучевой составляющей учитывается и при определении коэффициента неготовности. В настоящее время в мировой практике все эти факторы учитываются только в данном методе.

3. Метод расчета устойчивости, обусловленной влиянием рельефа местности при субрефракции. В отличие от существующих методов расчета, используемых разными фирмами и Администрациями связи, он позволяет произвести статистическую оценку влияния субрефракционных замираний.

4. Статистический метод выбора просветов на интервалах ЦРРЛ, учитывающий характер рельефа местности и климатические особенности различных регионов. Такой метод является существенным прогрессом по сравнению с выбором высот подвеса антенн, производимым с учетом свободных зон Френеля, вне зависимости

от характера рельефа на трассе и не позволяющим произвести оптимальный выбор просветов.

5. Метод учета влияния дождей на неготовность ЦРРЛ.

6. Методы учета влияния внутрисистемных помех, касающихся влияния деполяризации в системах "co-channel", обратного излучения антенн и приема с обратного направления, а также влияния прямого прохождения сигнала с первой станции на четвертую и т.д. При этом используются уточненные в последние годы статистические характеристики мешающих сигналов.

На основании данной Методики разработано программное обеспечение - диалоговая система автоматизированного расчета трасс ЦРРЛ.

Например, известно, что транспортная сеть сотовой связи в пределах города (диапазон 38 ГГц, длины интервалов 2 – 8 км), построенная по многопролетной схеме, имеет низкую метеостойчивость. Стандартная методика расчета показывает, что для однопролетной РРЛ длиной 6 км общая продолжительность замираний может составить 0,03-0,04 % наихудшего месяца для районов европейской части территории России. При использовании линейной топологии времени неготовности отдельных пролетов суммируются, что приводит к существенному снижению устойчивости сети в целом. Один из способов повышения устойчивости - горячее резервирование. Но даже горячее резервирование может улучшить лишь аппаратную готовность сети, но никак не уменьшает перерывы связи из-за метеоусловий.

С горными районами ситуации могут быть более сложными, так как протяженности интервалов часто составляют 100-200 км с большими углами скольжения падающей волны.

Уточнение методики расчета. Известно, что качество моделирования интерференционных замираний способствует более адекватному результату. Поэтому далее рассмотрим возможность получения более точных результатов оценки устойчивости.

В РФ наиболее распространены пересеченные профили интервалов РРЛ, где, как известно, отражением от земли можно пренебречь. К этому типу можно отнести как приземные, так и горные трассы. В Методике 1998 г. применительно к приземным трассам для учета интерференционных замираний используется метод эффективных параметров [2]. Но для расчета устойчивости горных и высокогорных трасс он дает большую погрешность, так как данные трассы требуют особого подхода к проектированию.

При интерференционных замираниях сигналов коэффициент ошибок $K_{ош}$ определяется как всплесками теплового шума при падении уровня сигнала на данном интервале линии, так и межсимвольными искажениями из-за возникающих неравномерностей амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик сигнала в среде распространения радиоволн. Для учета влияния таких замираний на устойчивость работы ЦРРЛ на основании двухлучевой статистической модели разработан метод эффективных параметров. Его смысл состоит во введении понятия эффективного значения множителя ослабления $V_{мин.эф}$, причем всегда $V_{мин.эф} \geq V_{мин}$. Введение $V_{мин.эф}$ для оценки устойчивости работы данного интервала ЦРРЛ позволяет пользоваться статистическими распределениями $T(V_{мин.эф})$ и $T(\Delta V)$, где ΔV — отношение уровней сигналов на краях полосы передаваемых частот шириной Δf . Значения ΔV характеризуют перекося спектра в условиях селективных замираний. Распределения $T(\Delta V)$ могут быть получены из выражения [2]:

$$T(\Delta V) = \frac{8\pi \cdot 10^{-6} \Delta f}{\Delta V^2 - 1} F(R, f), \quad (1)$$

где

$$F(R, f) = \frac{50}{f^2} \sum_{n=1}^{\infty} (n-1/2)^2 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{\Delta \bar{\epsilon} + \frac{\lambda}{R} (2n-1)}{\sqrt{2} \sigma_{\Delta \epsilon}} \right] \right\},$$

здесь Δf - полоса передаваемых частот; $\Delta \bar{\epsilon} = -0.6 \cdot 10^{-6}; -3.2 \cdot 10^{-6}$ - параметры нормального закона распределения скачков диэлектрической проницаемости воздуха в тропосфере для сухопутных и приморских трасс соответственно; $\sigma_{\Delta \epsilon} = 1.7 \cdot 10^{-6}$ для обеих типов трасс; R — длина интервала ЦРРЛ; λ — длина волны.

Горные и высокогорные трассы имеют ряд присущих им особенностей [3], таких как «просачивание» волны через слоистую среду тропосферы, что вызывает ослабление уровня сигнала даже при средней рефракции. По результатам последних экспериментальных данных [3,5] оказалось целесообразным исследовать величину медианного ослабления, близкого к среднему [3],

$$V_m = V(50\%) = P_{нмм} - P_{нм0}, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где $P_{нмм}$ - медианная мощность принимаемого сигнала, дБм (или дБВт), т.е. $P_{нмм} = P_{нм}(50\%)$;

$P_{лм0}$ - мощность принимаемого сигнала в условиях свободного пространства, дБм.

В настоящее время в международной практике при расчете уровней и устойчивости сигнала на трассах медианное ослабление не учитывается, в том числе и в Рек. МСЭ-Р Р.530, что, естественно, снижает качество моделирования работы пролета в условиях интерференционных замираний.

Анализ полученных данных в зависимости от длины трассы и угла наклона линии распространения луча волны, а также от рабочей частоты позволил получить формулу для расчета медианного ослабления, которую рекомендуется использовать при оценке качественных показателей в эксплуатационных условиях [3]

$$V_m = -q \frac{R}{\lambda^2}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где R - длина трассы, м; λ - длина волны, м; q - эмпирический коэффициент, учитывающий зависимость медианного ослабления от угла наклона луча α ,

$$\alpha = 57,3 \frac{h_1 - h_2}{R}, \text{ град.},$$

здесь h_1, h_2 - высота подвеса передающей и приемной антенн относительно уровня моря. Параметр q , дБм, в зависимости от угла наклона α определяется из рисунка.

Экспериментальное исследование. Рассмотрим устойчивость уровня сигнала при одностороннем приеме. В результате статистической обработки экспериментальных данных были построены распределения глубины замираний, обусловленные влиянием тропосферы, относительно медианного уровня для каждого периода измерений. При этом для T , % времени

$$\Delta V(T) = P(T)_{лм} - P_{лмм}, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где $P_{лм}$ - мощность принимаемого сигнала, дБм.

На основании проведенных экспериментов и полученных результатов для расчета статистики интерференционных замираний в малых процентах времени предлагается формула [3]:

$$T(\Delta V) = KQF(\bar{h})R^{2,5}f^{1,5}(1 + |\alpha|)^{-1,2}10^{\Delta V/10}, \quad (5)$$

где ΔV определяет глубину замираний и рассчитывается по (4); f - рабочая частота, ГГц; KQ - климатический фактор; $F(\bar{h})$ - высотный множитель, определяется как

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2},$$

для сухопутных трасс

$$F(\bar{h}) = 10^{-0,001(\bar{h}-800)},$$

для трасс над водой

$$F(\bar{h}) = 10^{-0,0004(\bar{h}-100)}.$$

Степень частотной зависимости $f^{1,5}$ рассчитывается графически в [4].

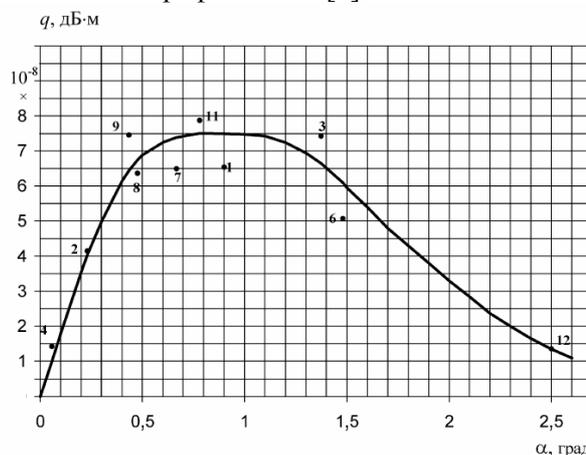


График для определения q

Выводы. Для сравнения в таблице приведены расчеты распределения замираний $T(\Delta V)$ по Рек. МСЭ-Р Р.530. [5]. Таблица показывает, что при одном и том же $T(\Delta V)$ вычисленные по формуле (5) и по Рек. Р.530, значения матожидания (%) и стандартной девиации (%) меньше при расчете по формуле (5).

Как следует из анализа таблицы, при расчете трасс высокогорных линий наиболее эффективно использовать предложенный метод учитывающий статистику глубины замираний по формуле (5) и медианное ослабление уровня сигнала по формуле (3). Этот метод повышает качество моделирования работы пролета ЦРРЛ в условиях интерференционных замираний и дополняет метод эффективных параметров.

$T(\Delta V)$, %	Формула (5)		Рек. МСЭ Р.530	
	Сред. знач., %	Стан. дев., %	Сред. знач., %	Стан. дев., %
0,0005	2,4	7,1	-5,6	21,0
0,001	4,0	8,5	-5,7	24,1
0,003	3,1	8,0	-7,2	27,1
0,005	0,9	10,9	-18,2	35,7
0,01	-5,9	8,0	-23,9	47,2

Библиографический список

1. www.ntcaemc.ru
2. Калинин А.И., Надеенко Л.В. Оценка устойчивости работы цифровых РРЛ по статистике линейной амплитудной дисперсии/Гос.НИИР. Труды; № 1. Радиорелейная и спутниковая связь. – М.1991.
3. www.niir.ru
4. Маковеева Н.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
5. www.soniir.ru