

УДК 621.396.2

В. Н. БЫКОВ, канд. техн. наук, *С. Н. БЫКОВ*,
А. В. КОНДРАТЬЕВ, *А. С. СУЛТАНОВ*, канд. техн. наук

**ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ШУМОВЫХ СИГНАЛОВ
ДЛЯ БОРЬБЫ С ЗАМИРАНИЯМИ В РАДИОЛИНИЯХ МАЛОЙ
ПРОТЯЖЕННОСТИ**

Основной метод борьбы с замираниями сигнала при многолучевом распространении радиоволн — разделение лучей по времени прихода и накопление в приемнике (ПРМ) энергии нескольких лучей [1—3]. Для этой цели применяются широкополосные сигналы (импульсные, составные, псевдослучайные, с шумовой несущей и др.), длительность которых (длительность импульса, интервал корреляции шумовых и псевдошумовых сигналов) меньше времени разности хода отдельных лучей Δt , а также методы когерентного и некогерентного сложения (накопления) сигналов нескольких лучей [1; 3]. Устройства, реализующие метод когерентного сложения лучей (взаимно-корреляционный прием), являются сложными. Жесткие требования предъявляются к синхронизации устройств сложения, стабильности частоты передатчиков (ПРД), возникает необходимость в операции амплитудного взве-

шивания, пропорционального коэффициенту передачи радиоприема по каждому лучу. Так, для функционирования в радиоприемах тропосферной связи взаимно-корреляционной системы «Rake» [1] при когерентном приеме многолучевого сигнала точность синхронизации должна быть порядка $2 \cdot 10^{-10}$ Гц (до фазы высокочастотного заполнения), допустимая нестабильность частоты должна быть не хуже 10^{-8} , максимальное время запаздывания прямого и переотраженных от неоднородностей тропосферы лучей составляет $\Delta t = (2-3)$ мкс. При этом небольшое увеличение погрешности системы синхронизации приводит к увеличению вероятности ошибочного приема на несколько порядков [4].

Протяженность радиоприема передачи информации между стационарными и подвижными объектами на местности со сложным рельефом, в том числе в городской местности, составляет величину от сотен метров до единиц километров. В таких радиоприемах вследствие касания диаграммой направленности антенны (ДНА) земной поверхности и городских построек также формируются прямой и переотраженные лучи [1; 2]. Время запаздывания этих лучей составляет единицы наносекунд, и для их разделения необходимо расширение полосы спектра сигнала до нескольких сотен мегагерц и более. При этом реализация высокой точности синхронизации в системе когерентного сложения лучей является трудновыполнимой задачей.

Системы автокорреляционного приема хотя и проигрывают взаимно-корреляционным системам в помехоустойчивости [3], но проще реализуемы технически, в частности, нет необходимости в синхронизации и амплитудном взвешивании. В системах с автокорреляционной обработкой находят применение сравнительно легко генерируемые в СВЧ-диапазоне шумовые сигналы, несущее колебание которых является широкополосным и представляет собой ограниченный по спектру «белый шум», а модулирующий (информационный) сигнал — узкополосный квазислучайный процесс [3]. Преимущества автокорреляционного приема широкополосных сигналов для борьбы с замираниями демонстрируют системы «Аккорд» и «Сатурн» [1; 3]. Однако и эти системы, являясь сравнительно узкополосными (ширина спектра сигнала $\Delta f_c < 1$ МГц), не позволяют разделять лучи в радиоприемах ограниченной дальности.

В связи с этим возникает необходимость оценить возможность снижения замираний, обусловленных многолучевостью, в радиоприемах малой протяженности за счет применения широкополосных шумовых сигналов.

В том случае, когда выполняется условие $\Delta t > \tau_k$, где $\tau_k = 1/2\Delta f_c$ — интервал корреляции, шумовые сигналы, поступающие на вход ПРМ по разным (i -м) направлениям, некогерентно суммируются и отдельно обрабатываются в автокорреляторе. Сигнал на выходе ПРМ вследствие того, что величина Δt много меньше интервала корреляции информационного сигнала, пропорционален модулирующему параметру $s(t)$ и средней мощности несущего колебания \bar{P}_c :

$$u_{c, \text{вых}} = \sum_{i=1}^n s(t + \Delta t_i) \bar{P}_{ci} = s(t) \bar{P}_s. \quad (1)$$

На рис. 1 приведена геометрия многолучевого распространения радиоволн на приземной трассе. В соответствии с этой геометрией сечение ДНА на земной поверхности представляет двумерную поверхность в виде круга (эллипса), ограниченную в горизонтальной и вертикальной плоскости шириной луча ДНА $\theta_{0,5}$ и $\varphi_{0,5}$. Площадь этой поверхности может быть разделена на зоны (рис. 1), переотраженные сигналы от которых являются независимыми. Размеры каждой зоны определяются интервалами пространственной корреляции лучей в горизонтальной (x и R) и вертикальной (y и R) плоскости (рис. 1, б, в). Одно из

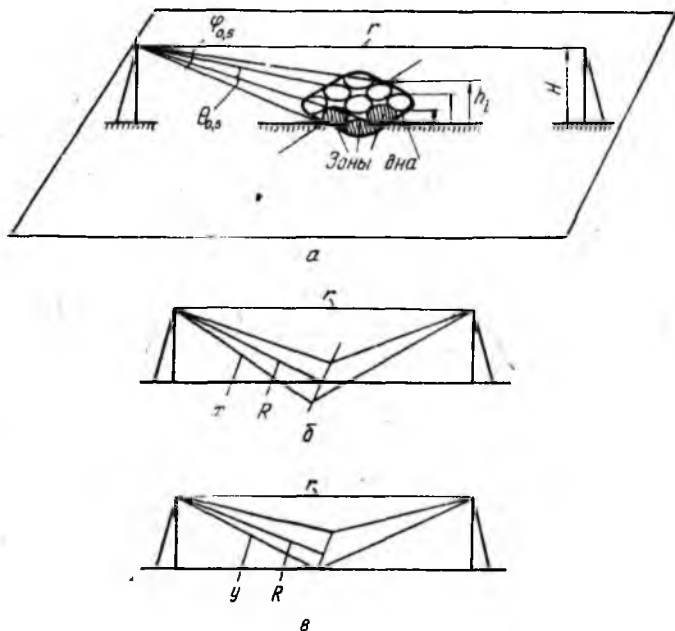


Рис. 1

условий существования независимых зон в вертикальной плоскости — наличие на трассе распространения радиоволн участков местности с различным высотным рельефом (h_i на рис. 1, а).

Условие разделения независимых зон в горизонтальной и вертикальной плоскости запишем следующим образом:

$$\Delta t = \Delta r_{r,v}/c \geq m/2\Delta f_c, \quad (2)$$

где $\Delta r_{r,v}$ — разность хода лучей в горизонтальной и вертикальной плоскости, соответственно $\Delta r_r = 2(x - R)$, $\Delta r_v = 2(y - R)$; c — скорость распространения радиоволн; m — коэффициент, выбирается из условия обеспечения декорреляции внутренних шумов ПРМ и шумовых помех, $m = (2 - 3)$; R , x , y — отрезки, обозначающие ход лучей (рис. 1). Пользуясь условием (2), считая, что для радиолиний протяженностью $r \geq 10^3$ м при высоте подъема антенны $H \leq 10$ м $R \approx$

$\approx r/2$, и проводя тригонометрические преобразования, получим соотношение для минимально допустимой полосы спектра сигнала как функции ширины ДНА и количества независимых зон в горизонтальной и вертикальной плоскости n :

$$\Delta f_c = mc / (r \cdot \arctg^2 \sqrt{\operatorname{tg}(\theta_{0,5}/2) \operatorname{tg}(\varphi_{0,5}/2) / n}). \quad (3)$$

Анализ соотношения (3) показывает, что существуют минимальные значения полосы спектра сигнала, при которых возможно разделение двух независимых зон ($n = 2$) в горизонтальной и вертикальной плоскости. С ростом ширины спектра сигнала, протяженности радиолинии и ширины ДНА в обеих плоскостях пропорционально увеличивается количество независимых зон, их число может быть большим (рис. 2, а, б). При этом появляется возможность «обмена» требуемой полосы

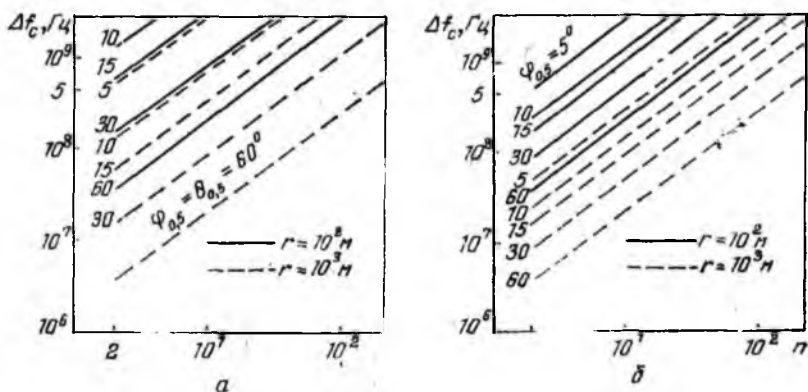


Рис. 2

спектра на ширину ДНА при фиксированном количестве независимых зон. Такой обмен должен осуществляться с учетом характера рельефа в горизонтальной и вертикальной плоскости, а также возможностей формирования шумовых сигналов с требуемой шириной спектра. В ходе расчетов принята величина коэффициента $m = 2$, при которой обеспечивается декорреляция шумов ПРМ [3].

В результате анализа многолучевого распространения радиоволн в наземных радиолиниях передачи информации малой протяженности получено аналитическое выражение (3), устанавливающее количественную взаимосвязь между требуемой шириной спектра сигнала, шириной ДНА в горизонтальной и вертикальной плоскости, протяженностью радиолинии и количеством различных независимых зон. Пользуясь данным выражением, можно оценить возможность снижения замираний в радиолиниях малой протяженности благодаря применению широкополосных шумовых сигналов с шириной спектра от десятков до нескольких сотен мегагерц.

Сравнивая радиолинии с узкополосными сигналами, в ПРМ которых сигнал формируется на основании одной зоны (ограниченной ши-

риной ДНА) и может быть утерян вследствие гладких замираний в зоне [1], с радиопередачами, использующими широкополосные шумовые сигналы, можно сделать вывод о более высокой помехоустойчивости последних.

Список литературы: 1. *Немировский А. С.* Борьба с замираниями при передаче аналоговых сигналов. М., 1984. 208 с. 2. *Системы подвижной радиосвязи / И. М. Пышкин, И. И. Дежурный, В. Н. Талызин, Г. Д. Чвилев.* М., 1986. 328 с. 3. *Семенов А. М., Сикарева А. А.* Широкополосная радиосвязь. М., 1970. 280 с. 4. *Теория и применение псевдослучайных сигналов / А. И. Алексеев, А. Г. Шереметьев, Г. И. Тузов, Б. И. Глазов,* М., 1969. 367 с.

Поступила в редакцию 14.03.88