

УДК 621.396.96 : 621.391.8

И.Г. Леонов, А.Н. Коржов, Д.В. Карлов, И.М. Пичугин

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСИИ МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КАНАЛА ПО ГЛУБИНЕ БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ ЗАМИРАНИЙ СИГНАЛА

*Предлагается методика оценки дисперсии множителя ослабления радиолокационного канала по глубине быстрых и медленных замираний сигнала при известных временном медианном значении и интервале корреляции множителя ослабления.*

**Ключевые слова:** множитель ослабления, статистические распределения, интегральное распределение глубины замираний сигнала, быстрые замирания сигнала, медленные замирания сигнала.

### Введение

**Постановка проблемы.** На современном этапе развития радиолокационной техники для определения устойчивости работы маловысотных РЛС необходимо знать статистические распределения мгновенных значений множителя ослабления  $V(r, t)$  [1].

Непосредственное получение статистических распределений  $V(r, t)$  путем накопления и статистической обработки записи мгновенных уровней сигнала чрезвычайно трудоемко, поэтому распределения  $V(r, t)$  можно определить по статистическим распределениям глубины быстрых и медленных замираний [4].

Зависимость  $V(r)$  экспериментально получить сложнее, чем  $V(t)$ .

Поэтому в статье предлагается методика определения  $V(r, t)$ , если  $V(t)$  известно.

**Цель статьи:** Определить статистические распределения мгновенных значений множителя ослабления по измеренному временному изменению глубины медленных замираний сигнала.

### Основная часть

На основе общепринятых сведений [1, 4] мгновенное случайное значение множителя ослабления  $V(r, t)$  можно представить в виде следующего произведения:

$$V(r, t) = \frac{V}{V_M} V_M, \quad (1)$$

где  $V_M$  – медианное значение множителя ослабления за заданный период времени;

$r$  – дальность до цели;

$t$  – время наблюдения.

Обычно  $V$  является нестационарным случайным процессом [1, 4], временной интервал корреляции которого много больше, чем пространственный.

Поэтому можно считать, что мгновенные значения множителя ослабления зависят только от  $r$  –  $V(r)$ , а зависимость от  $t$  можно учесть путем введения временного медианного значения множителя ослабления –  $V_{M.M}$ .

В дальнейшем  $V(r)$  будем обозначать  $V$ .

Как известно [1 – 3], статистическое распределение отношения  $V/V_M$  в течение кратковременных периодов близко к рэлеевскому закону распределения вне зависимости от значений величины  $V_M$ , а распределение значений  $V_M$  в первом приближении можно считать логарифмически нормальным.

Формула (1) описывает, таким образом, случайную величину  $V$  в виде произведения двух независимых случайных величин с известными статистическими распределениями.

Для независимых случайных величин двумерная плотность распределения равна произведению одномерных плотностей распределения, и так как  $V_M$  может принимать любые значения в пределах от 0 до  $\infty$ , то плотность распределения:

$$f(V) = \int_0^{\infty} f\left(\frac{V}{V_M}\right) f(V_M) \frac{dV_M}{V_M}, \quad (2)$$

где в подынтегральном выражении  $f\left(\frac{V}{V_M}\right)$  и  $f(V_M)$  означают плотности распределения  $V/V_M$  и  $V_M$  соответственно.

Интегральное распределение случайной величины  $V$ :

$$T(V) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f\left(\frac{V}{V_M}\right) f(V_M) \frac{dV_M}{V_M} dV. \quad (3)$$

Учитывая, что

$$\frac{1}{V_M} \int_0^V f\left(\frac{V}{V_M}\right) dV$$

есть интегральная функция распределения случайной величины  $V/V_M$ , которую обозначим  $F\left(\frac{V}{V_M}\right)$ , формулу (3) перепишем в виде:

$$T(V) = \int_0^{\infty} f(V_M) F\left(\frac{V}{V_M}\right) dV_M. \quad (4)$$

Обычно, сглаживание замираний осуществляется путем раздельного приема разнесенных по времени, по пространству, по поляризации или по частоте сигналов, прошедших по различным лучам с дальнейшим их некогерентным сложением или выбором максимального из принятых сигналов.

Некоторым преимуществом обладает частотно-разнесенный прием. Это связано с возможностью одноканального формирования и малоканальной обработки многочастотных сигналов с рационально выбранными параметрами.

При  $n$ -частотном сигнале и некоррелированности замираний в каждом частотном канале плотность распределения  $V/V_M$  описывается выражением [2, 3]:

$$F\left(\frac{V}{V_M}\right) = \left(1 - \exp\left(-0,69 \frac{V^2}{V_M^2}\right)\right)^n. \quad (5)$$

Величина  $V/V_M$  является случайной величиной, зависящей не только от дальности до цели и от времени наблюдения, но и от количества частотных составляющих в зондирующем сигнале.

При логарифмически-нормальном законе распределения значений  $V_M$  имеем:

$$f(V_M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}b_{\sigma}V_M} \exp\left[-\frac{(\ln V_M - \ln V_{M.M})^2}{2b_{\sigma}^2}\right], \quad (6)$$

где  $b_{\sigma} = \ln \sigma = 0,115 \sigma$ ;

$\sigma$ , дБ – стандартное отклонение глубины медленных замираний (величина стандартного отклонения зависит не только от длины трассы, сезона года и климатических условий, но и от длины волны и от ширины диаграмм направленности передающей и приемной антенн).

Подставляя в формулу (4) выражение для  $f(V_M)$  из (6), а выражение для  $F\left(\frac{V}{V_M}\right)$  из (5), получим:

$$T(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}b_{\sigma}} \int_0^{\infty} \exp\left[-\frac{\ln^2 \frac{V_M}{V_{M.M}}}{2b_{\sigma}^2}\right] \times \left[1 - \exp\left(-0,69 \frac{V^2}{V_M^2}\right)\right]^n \frac{dV_M}{V_M}. \quad (7)$$

Интеграл в (7) может быть определен только численными методами. Результаты вычисления показаны на рис. 1.

На рисунке приведены интегральные кривые статистического распределения  $V/V_{M.M}$  для одно-, двух- и четырехчастотного сигнала ( $n = 1, 2, 4$ ) и для различных  $\sigma$ .

Каждая из кривых определяет процент времени  $T(V/V_{M.M})$ , в течение которого отношение  $V/V_{M.M}$  меньше значений, указанных на оси ординат.

Анализ полученных результатов показывает, что если известно значение временного медианного значения множителя ослабления ( $V_{M.M}$ ), то можно определить с определенной степенью точности глубину (дисперсию) быстрых и медленных замираний сигнала в радиолокационном канале.

## Выводы

Для одночастотной однопозиционной РЛС глубина быстрых и медленных замираний может быть на 50 дБ меньше, чем временное медианное значение множителя ослабления лишь на малых интервалах времени.

При этом глубина замираний уменьшается при увеличении стандартного отклонения глубины медленных замираний.

Глубина замираний приближается к временному медианному значению множителя ослабления при увеличении длительности зондирующего сигнала.

Если использовать многочастотную РЛС, то глубина быстрых и медленных замираний может быть снижена при тех же значениях стандартного отклонения глубины медленных замираний на 20 дБ для двухчастотной РЛС и на 30 дБ для четырехчастотной РЛС.

Дальнейшее увеличение количества частот приводит к незначительному уменьшению глубины замираний (для восьмичастотной РЛС дополнительное уменьшение глубины замираний не превышает 3 дБ).

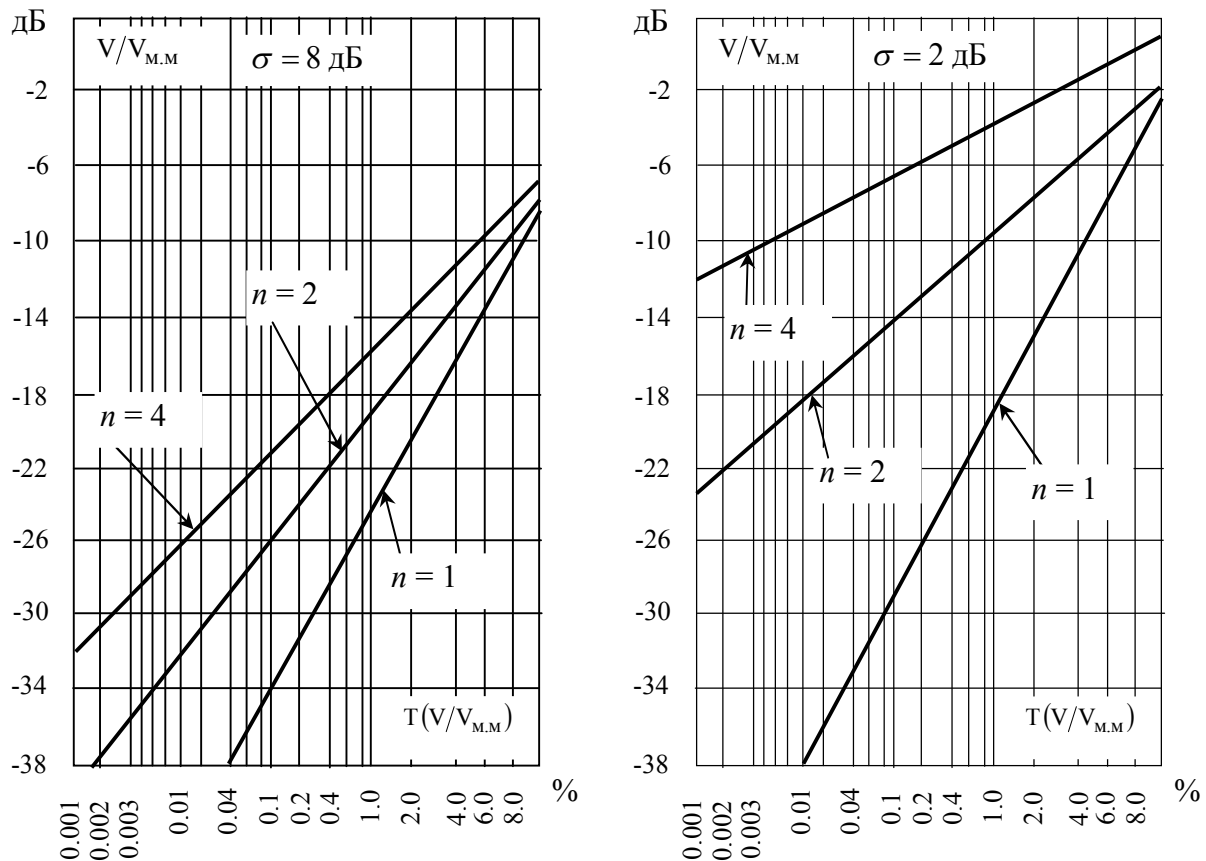


Рис. 1. Интегральное распределение глубины быстрых и медленных замираний (относительно  $V_{M.M}$ ) при  $n$ -частотном сигнале и некогерентном суммировании

Для практических значений времени усреднения быстрые замирания сглаживаются, поэтому целесообразно рациональное использование частотного и временного сглаживания.

### Список литературы

1. Кеннеди Р. Каналы связи с замиранием и рассеиванием. / Р. Кеннеди. Перевод с англ. под ред. И.А. Овсевича. – М.: Сов. радио, 1973. – 304 с.
2. Калинин А.И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний. – А.И. Калинин. – М.: Связь, 1979. – 296 с.

3. Черенкова Е.Л. Распространение радиоволн / Е.Л. Черенкова, О.В. Чернышов. – М.: Радио и связь. – 1984. – 272 с.
4. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е.А. Щербак. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.

Поступила в редколлегию 26.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСІЇ МНОЖНИКА ПОСЛАБЛЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО КАНАЛУ ПО ГЛИБИНІ ШВИДКИХ І ПОВІЛЬНИХ ЗАВМИРАНЬ СИГНАЛУ

І.Г. Леонов, А.М. Коржов, Д.В. Карлов, І.М. Пічугін

Пропонується методика оцінки дисперсії множника послаблення радіолокаційного каналу по глибині швидких і повільних завмирань сигналу при відомих часовому медіанному значенні і інтервалі кореляції множника послаблення.

**Ключові слова:** множник послаблення, статистичні розподіли, інтегральний розподіл глибини завмирань сигналу, швидкі завмирання сигналу, повільні завмирання сигналу.

### DETERMINATION OF DISPERSION OF MULTIPLIER OF WEAKENING OF RADIO-LOCATION CHANNEL ON DEPTH OF RAPID AND SLOW STOPPING BEATING OF SIGNAL

I.G. Leonov, A.N. Korzhov, D.V. Karlov, I.M. Pichygin

Methodology of estimation of dispersion of multiplier of weakening of radio-location channel is offered on the depth of the rapid and slow stopping beating of signal at known temporal median value and interval of correlation of multiplier of weakening.

**Keywords:** multiplier of weakening, statistical distributions, integral distribution of depth of stopping beating of signal, rapid stopping beating of signal, slow stopping beating of signal.