

Статистические характеристики сигналов и помех при обнаружении и измерении параметров движения протяженных объектов

В.М. Артюшенко¹, В.И. Воловач²

¹ Финансово-технологическая академия
141070, Российская Федерация, Московская область, г. Королев
ул. Гагарина, 42

² Поволжский государственный университет сервиса
445677, Российская Федерация, Самарская обл., г. Тольятти
ул. Гагарина, 4

Рассмотрены вопросы, связанные с анализом статистических характеристик сигналов и помех радиотехнических устройств ближнего действия. Приведены результаты анализа статистических характеристик огибающей доплеровских сигналов при воздействии мультипликативных помех. Показано, что для аппроксимации огибающих таких сигналов наиболее оптимальным является использование плотности распределения вероятности Накагами и Вейбулла. Проведена оценка статистических характеристик выбросов огибающих доплеровских сигналов. Определены зависимости коэффициента пропадаания от порогового уровня обработки сигнала.

Ключевые слова: радиотехнические устройства ближнего действия, огибающая сигнала, мультипликативные помехи, плотность распределения вероятности Накагами, плотность распределения вероятности Вейбулла, выбросы огибающей сигнала, коэффициент пропадаания, протяженный объект.

Введение

Радиотехнические системы и устройства ближнего действия (РУБД) [1–4] нашли широкое применение в различных системах обеспечения безопасности, системах классификации и идентификации, системах измерения параметров и управления движения объектов. Такие системы и устройства наряду с общими вопросами, характерными для построения всех радиотехнических систем, имеют ряд специфических особенностей, связанных с небольшой удаленностью их приемопередающих антенн от обнаруживаемых, как правило, протяженных объектов [5]. Поскольку в них реализуются принципы радиолокации, то должны учитываться специфические особенности ближнего действия, связанные, например, со сравнимостью геометрических размеров объекта с дальностью до него, с многолучевым характером отражения сигналов от подобных объектов, постоянным изменением эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) и т. п. Кроме того, локальность области обнаружения подразумевает создание устройств с высокой разрешающей способностью, требующих, как правило, использования сложных

зондирующих сигналов [6], находящихся под воздействием различных помех [7].

Для решения задач разработки РУБД, служащих для обнаружения и измерения параметров движения объектов, движущихся в зоне действия названных устройств, необходимо априорное знание как статистических характеристик сигналов, несущих информацию о параметрах движения протяженного объекта, так и статистических характеристик помех. В свою очередь, знание названных статистических характеристик позволит сформулировать более точные математические модели обрабатываемого сигнала и действующих на него помех. Ранее авторами [8; 9] был осуществлен выбор и обоснованы модели возмущающих воздействий на РУБД с учетом многолучевого характера сигналов, отраженных от протяженных объектов. В частности, было отмечено, что плотность распределения вероятности (ПРВ) огибающей такого сигнала хорошо аппроксимируется ПРВ Накагами [10].

Анализ временных реализаций отраженного от протяженных объектов сигнала показывает, что он хорошо описывается математической моделью многолучевого сигнала [11]. Как правило, обрабатываемый сигнал имеет вид амплитудно-

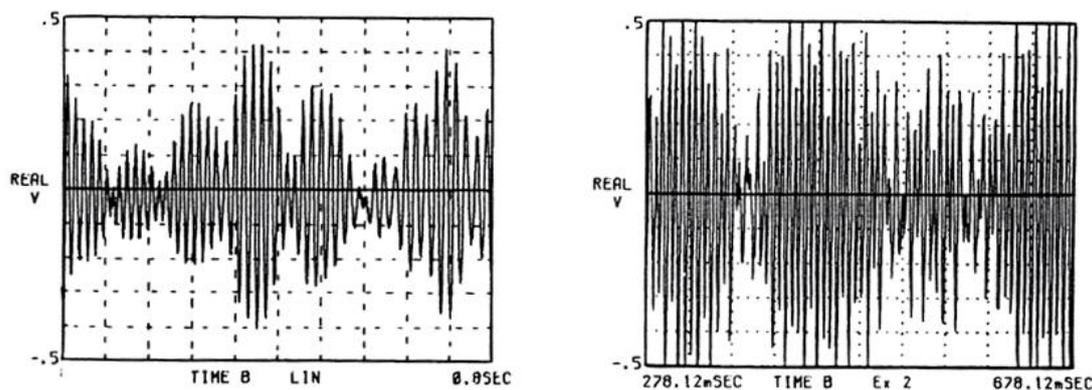


Рис. 1. Фрагменты обрабатываемого сигнала

модулированного колебания, глубина модуляции которого изменяется в больших пределах и может достигать 100 %, то есть полного затухания сигнала (рис. 1).

В этом случае принято считать, что на сигнал воздействует мультипликативная помеха [12; 13], статистические характеристики которой получают при обработке огибающей этого сигнала.

Известно большое количество работ, посвященных изучению ПРВ мгновенных значений отраженных сигналов, их ПРВ амплитуд, фаз, одномерных, двумерных, многомерных и совместных ПРВ [5; 11; 12–15]. Целый ряд исследований, посвященных этому вопросу, выполнен на транспорте [16–18]. Однако экспериментальных данных, полученных в результате строгой статистической обработки сигнала, отраженного от протяженного объекта, и воздействующих на него помех, крайне мало.

В экспериментах по определению статистических характеристик сигналов и воздействующих на них помех в качестве протяженных объектов использовались транспортные средства (ТС) железнодорожного и автомобильного транспорта, которые по своей структуре можно отнести к протяженным объектам сложной формы: автомобили [11] и железнодорожные отцепы (одиночные вагоны) [9; 18]. В работах [16; 17] было показано, что ТС как объект локации представляет собой сложную пространственно-распределенную радиолокационную цель, параметры которой могут значительным образом изменяться при движении относительно РУБД.

Так, в ходе проведенных исследований [11; 19] было показано, что ЭПР различных протяженных объектов может изменяться в сотни раз при небольших изменениях курсового угла ТС относительно РУБД. Ширина энергетического СДС, отраженного от ТС, в значительной степени определяется взаимным расположением ТС

и РУБД. Она минимальна, если курсовой угол мал ($\Delta F = 10 \dots 15$ Гц). При увеличении курсового угла до $17 \dots 20^\circ$ и уменьшении расстояния между ТС и РУБД до 3...50 м ширина спектра сигнала увеличивается в 3...4 раза.

В качестве РУБД использовался серийный радиолокационный измеритель скорости РИС-ВЗ с длиной волны $\lambda = 8$ мм.

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась на базе автоматизированной системы обработки экспериментальных данных [16]. Проверка гипотез, полученных в результате обработки оценок плотностей распределения вероятности (ПРВ), осуществлялась по критерию χ^2 [20].

Необходимо отметить, что анализ и обобщение результатов статистической обработки осуществлялись по многочисленным фрагментам принимаемого сигнала, полученного при измерении РУБД параметров движения протяженного объекта (при проведении каждого эксперимента использовались транспортные средства (ТС) одной модели). Так, число рассматриваемых фрагментов от одной модели каждого типа протяженного объекта достигало 900...1000. При этом запись принимаемого сигнала РУБД осуществлялась более чем на пятидесяти однотипных комплектах радиолокационных устройств СВЧ-типа. Кроме того, для получения наиболее полной статистической картины получаемой информации экспериментальные работы проводились при различных климатических условиях: ясной солнечной погоде, дожде, тумане, изморози и снегопаде.

Методика проведения экспериментальных исследований и статистической обработки подробно изложена в [5; 11] и здесь не приводится.

Отметим, что ранее [9] авторами был рассмотрены вопросы, связанные с исследованием ряда статистических характеристик, таких

как статистические характеристики мгновенных значений сигналов и статистические характеристики аддитивных помех, а также был проведен анализ параметров спектра доплеровского сигнала, полученных для движущихся протяженных объектов.

Рассмотрим далее не менее важные статистические характеристики, которые оказывают влияние не только на дальность действия РУБД, но и определяют ряд других важнейших показателей качества их работы, например, вероятность правильного обнаружения, пропуска, ложного срабатывания, точность измерения скорости и ускорения, разрешающую способность и др.

Заметим, что здесь в качестве принимаемых РУБД сигналов мы будем иметь в виду низкочастотные (доплеровские) сигналы, формируемые на выходе высокочастотной части РУБД (СВЧ-датчика) после их преобразования.

1. Статистические характеристики огибающей сигнала при воздействии мультипликативных (модулирующих) помех

Анализ результатов статистической обработки огибающей показал, что принимаемые сигналы можно приближенно отнести к двум большим группам. К первой группе относятся сигналы, огибающие которых хорошо аппроксимируются ПРВ Накагами:

$$W(U) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m U^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} U^2\right), \quad (1)$$

$$m_U^v = \Gamma(m + v/2) / \Gamma(m) (\Omega / m)^{-v/2},$$

$$U \geq 0; m \geq 0,5,$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция;

$$m = \langle U^2 \rangle^2 / \langle [U^2 - \langle U^2 \rangle]^2 \rangle \geq 0,5 \text{ и } \Omega = \langle U^2 \rangle$$

– параметры распределения; v – начальные моменты.

В этой группе математическое ожидание m_1 , дисперсия σ^2 и СКО σ длительности пропадания ниже порогового уровня $U_{\text{пор}}$ соответственно могут изменяться $0,6051 \leq m_1 \leq 8,160$; $0,0075 \leq \sigma^2 \leq 0,027$; $0,086 \leq \sigma \leq 0,1647$.

Коэффициенты вариации K_B , асимметрии K_a и эксцесс K_3 могут меняться $0,1436 \leq K_B \leq 0,3724$; $-0,4721 \leq K_a \leq 0,2627$; $-0,7948 \leq K_3 \leq 0,1816$.

Приведем выражения, характеризующие названные коэффициенты ПРВ длительностей выбросов:

– коэффициент вариации

$$K_B = \bar{\sigma} \bar{\tau}^{-1}, \quad (2)$$

где $\bar{\tau}$ – среднее значение длительности выбросов огибающей ниже порогового уровня $U_{\text{пор}}$,

– коэффициент асимметрии

$$K_a = (m_3 - 3m_1m_2 + 2m_1^3) / \left[(m_2 - m_1^2)^3 \right]^{0,5}, \quad (3)$$

где m_i – соответствующий выборочный момент распределения временных интервалов,

– коэффициент эксцесса

$$K_3 = (m_4 - 4m_3m_1 + 6m_2m_1^2 - 3m_1^4) / (m_2 - m_1^2)^2. \quad (4)$$

Параметры распределения Накагами изменяются в пределах: $4,0559 \leq m \leq 11,1965$; $0,3995 \leq \Omega \leq 11,29$. При изменении числа степеней свободы $n_{\text{св}}$ от 7 до 15 χ^2 для этой группы изменяется от 13,096 до 30,323, а уровень значимости $\gamma_{\text{зн}}$ при этом лежит в пределах $0,002 \leq \gamma_{\text{зн}} \leq 0,10$.

Ко второй группе относятся сигналы, огибающая которых хорошо аппроксимируется ПРВ Вейбулла:

$$W(U) = C\alpha U^{\alpha-1} \exp\{-CU^\alpha\}, \quad (5)$$

$$U > 0, \quad C > 0, \quad \alpha > 0,$$

где C и α – параметры распределения.

Начальные моменты ПРВ Вейбулла определяются

$$m^v = C^{-v/\alpha} \Gamma(1 + v/\alpha),$$

при $\alpha = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, при $\alpha = 2$ и $C = 0,5\sigma^2$ – в рэлеевское.

Статистические параметры распределения изменяются в пределах:

$$0,6377 \leq m_1 \leq 1,082; \quad 0,0106 \leq \sigma^2 \leq 0,0427;$$

$$0,091 \leq \sigma \leq 0,2068; \quad 0,1217 \leq K_B \leq 0,2651;$$

$$-0,7973 \leq K_a \leq -0,0626; \quad -0,7877 \leq K_3 \leq 0,9330;$$

$$0,3916 \leq C \leq 1,8122; \quad 3,72 \leq \alpha \leq 7,88.$$

При изменении числа степеней свободы $n_{\text{св}}$ от 7 до 12, χ^2 меняется от 10,289 до 28,61, а уровень значимости $\gamma_{\text{зн}}$ при этом лежит в пределах $0,002 \leq \gamma_{\text{зн}} \leq 0,1$.

Результаты обработки показывают, что ПРВ огибающей не только зависит от вида протяженного объекта, но и изменяется в процессе его движения в зоне действия РУБД, причем

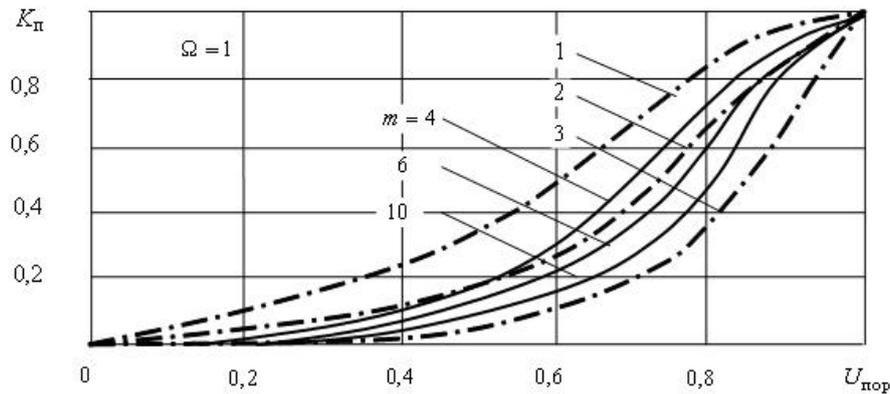


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропадаания огибающей сигнала от величины порога обработки при различных значениях параметров ПРВА Накагами

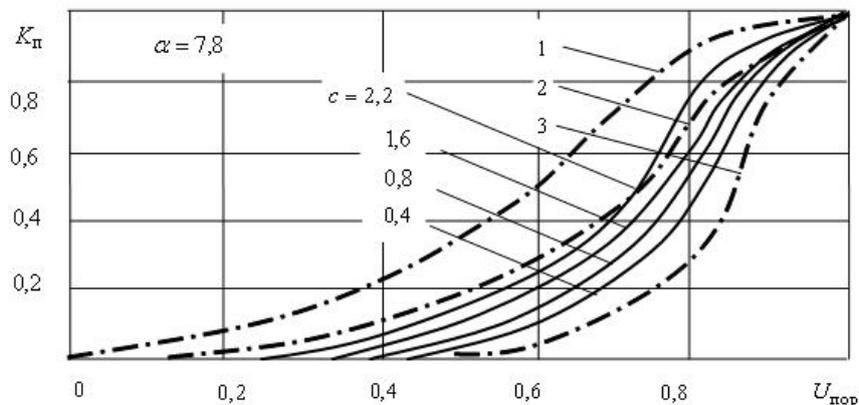


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропадаания огибающей сигнала от величины порога обработки при различных значениях параметров ПРВА Вейбулла

в некоторые моменты времени ПРВ огибающей (амплитуды) (ПРВА) может достаточно хорошо аппроксимироваться гауссовским и логарифмическим нормальным распределением. Однако преобладающим является использование ПРВ Накагами [5; 11].

2. Статистические характеристики выбросов огибающей сигнала

В задачах повышения эффективности проектирования радиотехнических систем и устройств часто возникает необходимость оценки статистических характеристик выбросов обрабатываемых процессов. Важной характеристикой является плотность и функция распределения длительностей τ_B выбросов огибающих сигналов $\eta(t)$ ниже порогового уровня обработки $U_{\text{пор}}$ [21].

Под τ_B отраженного сигнала понимается отрезок времени, в течение которого огибающая сигнала $\eta(t)$ находится ниже порогового уровня $U_{\text{пор}}$.

Теоретический анализ такой характеристики сложен и выполнен только для некоторых частных случаев [22; 23]. Известны лишь приближенные методы расчета средней длитель-

ности τ_B и плотности распределения вероятностей (ПРВ) длительностей выбросов $W(\tau_B)$. Как правило, характеристики случайных процессов определялись для гауссовских случайных процессов.

Среди статистических характеристик выбросов огибающей обрабатываемого сигнала РУБД важное место занимает коэффициент пропадаания огибающей сигнала ниже заданного порогового уровня, оцениваемый по формуле [5]

$$K_{\text{П}} = \int_0^{U_{\text{пор}}} W_{\eta}(\eta) d\eta / \int_0^{U_{\text{max}}} W_{\eta}(\eta) d\eta, \quad (6)$$

где $W_{\eta}(\eta)$ – плотность распределения вероятности огибающей (амплитуды) обрабатываемого сигнала $\eta(t)$; $U_{\text{пор}}$ – нормированное значение величины порога обработки, при котором площадь фигуры, ограниченная функцией $W_{\eta}(\eta)$, принимается равной единице; U_{max} – максимальное значение амплитуды обрабатываемой реализации.

Заметим, что при $U_{\text{max}} = \infty$

$$K_{\text{П}} = \int_0^{U_{\text{пор}}} W_{\eta}(\eta) d\eta. \quad (7)$$

Также коэффициент пропадаания экспериментально может быть определен выражением

$$K_{\Pi} = T_{\Pi} \tau_{\text{пр}}^{-1}, \quad (8)$$

в котором $\tau_{\text{пр}}$ – длительность пропадаания сигнала на интервале наблюдения T_{Π} .

Величина K_{Π} позволяет оптимизировать величину порога обработки решающего устройства РУБД, а также учесть условия работы последнего. Например, в случае использования РУБД для обнаружения протяженных объектов оптимизация порога обработки позволяет минимизировать пропуск объектов, связанный с замиранием отраженного сигнала.

Зная ПРВА огибающей обрабатываемого сигнала $W_{\eta}(\eta)$, можно найти зависимость величины K_{Π} от порогового уровня $U_{\text{пор}}$. В частности, если ПРВА огибающей распределена по закону Накагами, то коэффициент пропадаания в зависимости от параметров распределения ПРВА и $U_{\text{пор}}$ определяется соотношением:

$$\begin{aligned} K_{\Pi} &= 1 - \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} W(U) dU = \\ &= 1 - \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} \int_{U_{\text{пор}}}^{\infty} \left\{ U^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega} U^2\right) \right\} dU. \end{aligned} \quad (9)$$

Вводя новую переменную $x = U_{\text{пор}}^2 m \Omega^{-1}$ и учитывая, что

$$\int_x^{\infty} e^{-t^2} t^{\alpha-1} dt = \Gamma(\alpha, x)$$

– неполная гамма-функция, после необходимых преобразований получаем:

$$K_{\Pi} = \Gamma^{-1}(m) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{\alpha+n}}{n!(\alpha+n)}, \quad (10)$$

Вместе с тем не всегда удается аналитически выявить зависимость K_{Π} от $U_{\text{пор}}$, в частности, для ПРВА Вейбулла.

В этом случае широко используются численные методы [5]. На рис. 2, 3 представлены зависимости $K_{\Pi} = f(U_{\text{пор}})$ для некоторых значений параметров ПРВА Накагами и Вейбулла (сплошные линии), полученные численными методами.

Для сравнения теоретических и экспериментальных зависимостей были проведены экспериментальные исследования огибающих отраженных сигналов и их выбросов ниже различных пороговых уровней.

Статистическая обработка длительности выбросов огибающей ниже определенного уровня

проводилась применительно к доплеровскому сигналу на выходе РУБД с использованием специализированного комплекса по обработке экспериментальных данных [11].

Кроме того, на рис. 2 и 3 штрихпунктирными линиями 1 и 3 показан диапазон изменения коэффициента пропадаания огибающей, полученный после обработки результатов экспериментальных исследований. Кривая 2 характеризует усредненное значение экспериментальных результатов.

Как видно, теоретические кривые зависимостей $K_{\Pi} = f(U_{\text{пор}})$, построенные для огибающих с ПРВ Накагами и Вейбулла с различными параметрами, полностью укладываются в полученный экспериментально диапазон.

Отметим, что теоретические результаты близки к экспериментальным (кривая 2) только при максимальных порогах обработки $U_{\text{пор}}/U_{\text{max}} \rightarrow 1$. С уменьшением $U_{\text{пор}}$ общая тенденция теоретических и экспериментальных кривых сохраняется, однако их расхождение имеет значительный характер.

В таблице представлены усредненные статистические характеристики выбросов, огибающие которых описываются ПРВ Накагами и Вейбулла и которые характеризуются, как уже отмечалось выше, следующими параметрами распределения: m_1 – среднее значение длительности выбросов огибающей ниже порогового уровня $U_{\text{пор}}$ (математическое ожидание); дисперсия σ^2 и средноквадратическое отклонение σ длительностей выбросов; K_a и K_s – соответственно, коэффициент асимметрии и эксцесса ПРВ длительностей выбросов; K_{Π} – коэффициент пропадаания огибающей обрабатываемого сигнала ниже $U_{\text{пор}}$.

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что с увеличением порогового уровня возрастает отличие ПРВ выбросов от гауссовской, что видно из сравнения величин коэффициентов K_s и K_a .

В случае когда распределение огибающей $U(t)$ описывается законом Накагами или Вейбулла, ПРВ $W(\tau_b)$ длительностей выбросов огибающей $U(t)$ ниже обрабатываемых пороговых значений $U_{\text{пор}}$, хорошо аппроксимируется логарифмически нормальным законом [5]:

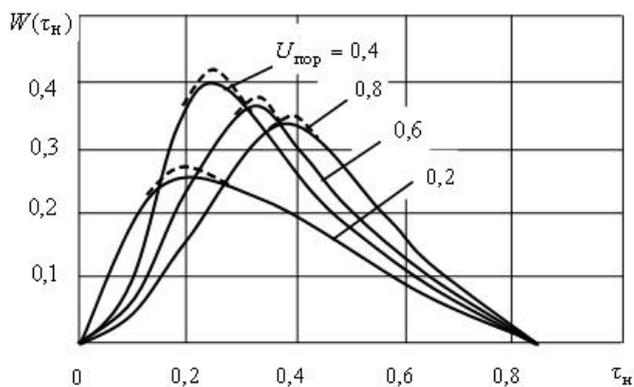
$$W(\tau) = \exp\left\{-\frac{(\ln \tau - d)^2}{2G^2}\right\} / \tau G(2\pi)^{0,5}, \quad (11)$$

где d и G – параметры распределения.

Таблица

Статистические характеристики выбросов огибающих полезных сигналов

ПРВА	Параметры	Величина порога $U_{\text{пор}}$			
		$0,2U_{\text{max}}$	$0,4U_{\text{max}}$	$0,6U_{\text{max}}$	$0,8U_{\text{max}}$
Накагами	m_1	11,38	18,52	43,12	74,50
	σ^2	10,37	18,25	36,61	64,20
	K_a	1,35	1,36	2,08	2,12
	K_9	0,591	2,30	4,77	5,60
	K_{Π}	0,04	0,11	0,32	0,68
Вейбулла	m_1	8,53	16,04	41,01	72,70
	σ^2	9,55	16,84	40,08	61,83
	K_a	1,18	1,28	1,81	1,97
	K_9	0,53	2,21	4,36	5,28
	K_{Π}	0,03	0,09	0,30	0,67

Рис. 4. Зависимость ПРВ длительности выбросов огибающей при различных значениях величины $U_{\text{пор}}$

На рис. 4 штриховыми линиями представлены теоретические, а сплошными – экспериментальные кривые $W(\tau_n)$, где $\tau_n = \tau_b / \tau_{b,\text{max}}$, $\tau_{b,\text{max}}$ – максимальное значение длительности выбросов огибающей.

Кривые построены для различных значений величины $U_{\text{пор}}$, когда ПРВА описывается законом Накагами. Как видно, ПРВ длительностей выбросов имеют ярко выраженную левую асимметрию. С увеличением уровня $U_{\text{пор}}$ мода распределения смещается вправо, а кривые распределения стремятся к симметричному виду. При увеличении $U_{\text{пор}}$ до значения $0,4U_{\text{max}}$ максимум ПРВ возрастает, а затем начинает уменьшаться. В том случае, когда ПРВ описывается законом Вейбулла, характер кривых не меняется, однако моды распределений смещаются влево. Их численные значения можно найти в таблице.

Заметим, что подробные результаты экспериментальной обработки приведены в [5; 11].

Таким образом, определены статистические характеристики длительностей выбросов случайных процессов огибающих обрабатываемых сигналов с негауссовской ПРВ. Определены зависимости коэффициента пропадаания от порогового уровня обработки сигнала.

Заключение

При решении задач, связанных с обнаружением и измерением параметров протяженных объектов, необходимо принимать во внимание явно выраженный негауссовский характер как полезного обрабатываемого сигнала, так и воздействующих на него, в общем случае, аддитивно-мультипликативных помех [9].

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Сигнал, отраженный от протяженного объекта, хорошо описывается математической моделью многолучевого сигнала, на который одновременно воздействует как аддитивные, так и мультипликативные помехи.

2. Результирующий сигнал, отраженный от протяженного объекта, представляет собой совокупность сигналов, отраженных от стабильного отражателя и «блестящих точек». При этом при движении протяженного объекта отражающие свойства «блестящих точек» постоянно меняются, приводя к появлениям амплитудных и фазовых (частотных) флуктуаций принимаемого сигнала и, соответственно, расширению его спектра. Эффективная поверхность рассеяния таких объектов случайна.

3. ПРВА, в общем случае, отличается от ПРВ Рэля и хорошо аппроксимируется ПРВ Накагами и Вейбулла. При этом преобладающим все же является ПРВ Накагами.

4. ПРВ длительности выбросов огибающей сигнала ниже заданного порогового уровня является негауссовской и хорошо аппроксимируется логарифмически нормальной ПРВ.

5. Сравнение оценок экспериментальных и теоретических зависимостей коэффициента пропадаения от порога обработки и параметров распределения огибающей отраженного сигнала показывает, что с увеличением порогового уровня теоретические и экспериментальные характеристики практически совпадают.

Результаты экспериментальной обработки хорошо согласуются с выбранными теоретическими моделями полезного обрабатываемого сигнала.

Работа выполнена в рамках фундаментальной НИР, финансируемой из средств Минобрнауки РФ (Государственное задание на 2014 г., код 226).

Список литературы

1. Коган И.М. Ближняя радиолокация. М.: Сов. радио, 1973. 272 с.
2. Коган И.М. Теоретические основы радиолокации на малых расстояниях. М.: ВИНТИ, 1976. 155 с.
3. Charvat G.L. Small and Short-Range Radar Systems. CRC Press, 2014. 430 p.
4. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. М.: Мир, 2003. 387 с.
5. Артюшенко В.М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов. М.: ГБОУ ВПО ФТА, 2013. 214 с.
6. Григорин-Рябов В.В., Богачев А.П., Шелухин О.И. Многоканальные шумовые РЛС ближнего действия с интегральным обзором // Радиотехника. 1980. Т. 35. № 3. С. 35–37.
7. Артюшенко В.М. Обработка информационных параметров сигнала в условиях аддитивно-мультипликативных негауссовских помех. Королев МО: ГБОУ ВПО ФТА; Изд-во «Канцлер», 2014. 298 с.
8. Artyushenko V.M., Volovach V.I. Statistical characteristics of envelope outliers duration of non-gaussian information processes // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). Rostov-on-Don, Russia, September 27–30, 2013. Kharkov: KNURE, 2013. P. 137–140.
9. Артюшенко В.М., Воловач В.И., Иванов В.В. Статистические характеристики сигналов и помех в радиотехнических устройствах ближнего действия // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 7. С. 46–50.
10. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ математических моделей полезных сигналов и информационных процессов радиолокационных устройств ближнего действия // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2014. № 5. С. 14–20.
11. Воловач В.И. Методы и алгоритмы анализа радиотехнических устройств ближнего действия. М.: Радио и связь, 2013. 228 с.
12. Поздняк С.И., Мелитицкий В.А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. М.: Сов. радио, 1974. 514 с.
13. Атоянц Б.А., Езерский В.В. Распределение элементарных фаз в модели флуктуирующей цели // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1977. Т. 20. № 4. С. 106–108.
14. Теоретические основы радиолокации / А.А. Коростелев [и др.]; под ред. В.Е. Дулевича. М.: Сов. радио, 1978. 608 с.
15. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Анализ параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Известия вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55. № 9. С. 62–66.
16. Артюшенко В. М. Статистические характеристики и математические модели отраженных сигналов в системах горючих измерителей параметров движения отцепов / Моск. ин-т инж. ж.-д. трансп. М.: 1989. 25 с. Деп. В ЦНИИ-ТЭИ МПС, 1.2.90, № 5071.
17. Дистанционный контроль скорости движения транспортных средств / Ю.М. Егоров [и др.]. М.: Транспорт, 1987. 271 с.
18. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Экспериментальное исследование параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 3 (19). С. 17–24.
19. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Определение параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от движущегося объекта // VIII Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь», 24–26 ноября 2014 г., Москва, ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН. М., 2014. С. 325–329.
20. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высш. школа, 1982. 224 с.
21. Шелухин О.И., Артюшенко В.М. Характеристики выбросов негауссовских случайных процессов // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1991. Т. 24. № 1. С. 26–30.
22. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов. М.: Наука, 1980. 382 с.
23. Фомин Я.А. Теория выбросов случайных процессов. М.: Связь, 1980. 216 с.

Statistical characteristics of the signal and noise detection and measurement of parameters of the motion of extended objects

V.M. Artyushenko, V.I. Volovach

Questions associated with the analysis of statistical characteristics of signals and interference of radio engineering devices in the middle of the action. The results of analysis of statistical characteristics of the signal envelope at the impact of the multiplicative noise. For the approximation of the envelope is the predominant use of the PDF of Nakagami. Questions of evaluation one of the statistical characteristics of the emission processed processes of the coefficient of loss of signal envelope is below a predetermined threshold level. The dependence of the coefficient of loss from the threshold level of signal processing.

Keywords: radio short-range devices, the envelope of the signal, multiplicative noise, the PDF of Nakagami, the PDF of the Weibull, the emission signal envelope, the rate of loss, the length of the object.

Неганов, В.А.

Теория и применение устройств СВЧ: учебн. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой;
под ред. В.А. Неганова. – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.

ISBN 5-256-01812-4

В.А. Неганов, Г.П. Яровой

**ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ
УСТРОЙСТВ СВЧ**



УДК 621.396.67

ББК 32.840

Н 41

В учебном пособии рассматриваются методы проектирования и конструктивной реализации устройств СВЧ: линий передачи различных видов, резонаторов, согласующих и трансформирующих устройств, фильтров, фазовращателей, аттенуаторов, тройниковых соединений, направленных ответвителей, различных мостовых соединений, ферритовых устройств (вентилей, циркуляторов, фазовращателей) и СВЧ-устройств на полупроводниковых диодах (умножителей, смесителей, переключателей, выключателей). Приводятся примеры применения устройств СВЧ в радиосвязи, радиолокации, измерительной аппаратуре и т. д. В книгу вошел оригинальный материал, полученный авторами. Учебное пособие может использоваться как справочник по устройствам СВЧ.

Для специалистов в области теории и техники СВЧ, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, студентов старших курсов радиотехнического и радиофизического профиля.