

---

---

# ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

---

---

УДК 681.5

В. М. АРТЮШЕНКО, В. И. ВОЛОВАЧ, В. В. ИВАНОВ

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ

Рассматриваются вопросы, связанные с анализом статистических характеристик сигналов и помех радиотехнических устройств ближнего действия. Показано, что при решении задач обнаружения и измерения параметров протяженных объектов следует учитывать негауссовский характер полезного сигнала и воздействующих на него помех.

*Ключевые слова:* радиотехнические устройства ближнего действия, лоцируемый объект, аддитивные и мультипликативные помехи, измеритель.

На основе известных статистических характеристик сигналов и возмущающих воздействий можно сформировать математические модели обрабатываемого сигнала, несущего информацию о параметрах движения протяженного объекта, и действующих на него помех, а также обосновать принципы разработки многофункциональных радиолокационных измерителей (РЛИ) параметров движения объектов, которые относятся к классу радиотехнических устройств ближнего действия.

Изучению плотностей распределения вероятности (ПРВ) мгновенных значений отраженных сигналов, их амплитуд и фаз для одномерных, двумерных и многомерных распределений посвящено большое количество работ [1—11]. Однако экспериментальных данных, полученных в результате строгой статистической обработки сигнала, отраженного от протяженного объекта, и воздействующих на него помех, недостаточно.

Для определения статистических характеристик сигналов и воздействующих на них помех были проведены экспериментальные исследования с использованием РЛИ миллиметрового диапазона; фиксировались сигналы, отраженные от подвижного состава железнодорожного транспорта. Статистическая обработка полученных данных произведена автоматизированной системой обработки экспериментальных данных. Проверка гипотез, полученных в результате обработки, осуществлялась по критерию  $\chi$ -квадрат. Методика проведения экспериментальных исследований и статистической обработки подробно изложена в работе [1].

Анализ временных зависимостей отраженного от протяженных объектов сигнала показывает, что он может быть достаточно корректно описан математической моделью многолучевого сигнала [2]. Как правило, обрабатываемый сигнал имеет вид амплитудно-модулированного колебания, глубина модуляции которого изменяется в больших пределах и может достигать 100 %. В этом случае принято считать, что на сигнал воздействует мультипликативная помеха [3, 4], статистические характеристики которой определяются при обработке огибающей этого сигнала.

**Статистические характеристики мгновенных значений сигнала.** На рис. 1 представлены характерные зависимости изменения во времени ПРВ амплитуды принимаемого сигнала при движении протяженного объекта в зоне действия РЛИ: *a* — отдельный импульс, *б* — последовательность импульсов ( $N$  — номер импульса).

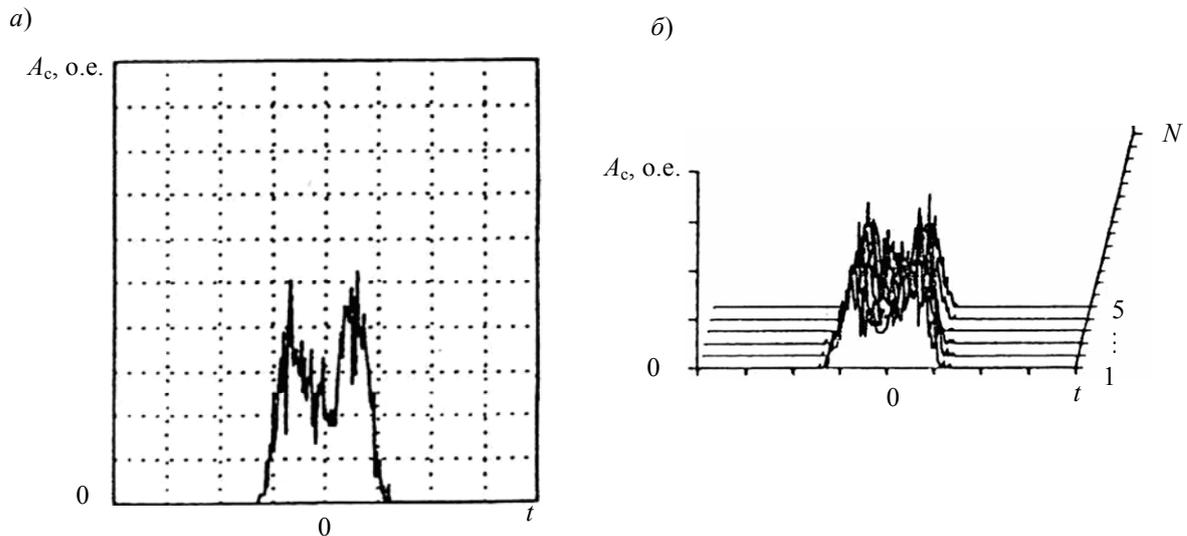


Рис. 1

Анализ показывает, что ПРВ мгновенных значений сигнала преимущественно носит ярко выраженный бимодальный характер, при этом не только зависит от вида протяженного объекта, но и изменяется в процессе его движения в зоне действия измерителя [6].

Для различных моделей протяженных объектов коэффициенты эксцесса лежат в пределах  $K_3 = 2 \dots 4$ , коэффициенты асимметрии близки к нулю  $K_a \approx 0$ , математическое ожидание изменяется в пределах  $0 \leq M_1 \leq 0,1$ .

Увеличение глубины амплитудной модуляции сигнала приводит к расширению ПРВ его мгновенных значений [12] и изменению ее параметров (математического ожидания  $M_1$ , среднеквадратического отклонения  $\sigma$ , дисперсии  $\sigma^2$ , третьего  $M_3$  и четвертого  $M_4$  моментов).

**Анализ параметров спектра сигнала.** Спектры обрабатываемых сигналов можно условно разделить на три группы [7, 9]. К первой относятся спектры сигналов, получаемые при облучении объекта под углом  $\alpha \approx 0$ , когда объект находится на относительно большом расстоянии от РЛИ — порядка 100...150 м. В этом случае облучается торцевая часть протяженного объекта; при этом ширина спектра на уровне 0,707 равна  $\Delta F = 8 \dots 12$  Гц.

Ко второй группе относятся спектры, соответствующие углам облучения  $\alpha \geq 17^\circ$ . В этом случае ширина спектра на уровне 0,707 увеличивается и составляет  $\Delta F = 20 \dots 25$  Гц. Объект при этом находится на относительно небольшом расстоянии от РЛИ — порядка 10...20 м. Облучению подвергается обычно его боковая поверхность. При движении объекта его ракурс быстро меняется, что сопровождается флюктуациями отражающих центров. Это приводит к расширению спектра обрабатываемого сигнала, ухудшению потенциальной точности измерения его средней частоты. Кроме того, для этого случая характерно уменьшение эффективной поверхности рассеяния, обусловленное тем, что узкий луч антенны облучает лишь часть поверхности (прожекторный режим).

Третью группу составляют спектры, соответствующие режиму резкого изменения скорости объекта. В этом случае ширина спектра на уровне 0,707 может достигать 35...40 Гц. Точность измерения средней частоты спектра при этом наихудшая.

Значения ширины спектра доплеровских сигналов на уровне 0,707, полученные для различных моделей протяженных объектов, отражены в таблице, где  $\delta_{д.с.} = \Delta F/F_d$  — относительная погрешность измерения средней частоты доплеровского сигнала [1, 2].

Номер модели объекта	Группа № 1		Группа № 2		Группа № 3	
	$\Delta F$ , Гц	$\delta_{д.с.}$ , %	$\Delta F$ , Гц	$\delta_{д.с.}$ , %	$\Delta F$ , Гц	$\delta_{д.с.}$ , %
1	8	1,0	24	1,8	38	3,5
2	12	1,0	25	1,8	35	3,5
3	12	1,0	24	1,8	38	3,5
4	12	1,25	20	1,6	34	2,8
5	10	1,25	24	1,8	39	3,5
6	8	1,0	20	1,6	30	2,8
7	8	1,0	23	1,6	38	2,8
8	12	1,25	22	1,8	36	3,5
9	10	1,25	25	1,8	38	3,5
10	12	1,25	24	1,6	39	3,5

Наиболее характерные спектры обрабатываемых доплеровских сигналов, полученные экспериментально [9], показаны на рис. 2: *а* — отдельный импульс, *б* — последовательность импульсов.

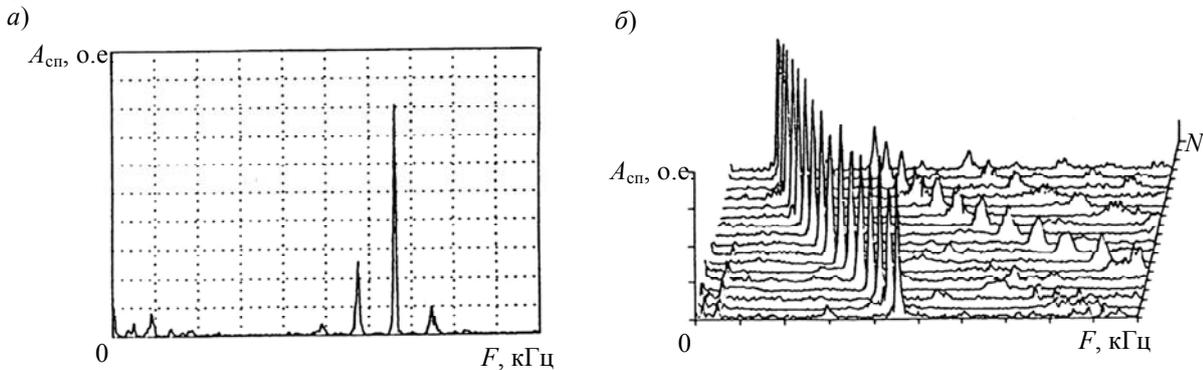


Рис. 2

Следует отметить, что сигнал, отраженный от вращающихся колес вагона или задних и боковых дверей, крышек, устройства для крепления грузов и т.д., вносит в спектр дополнительные составляющие, причем частоты этих составляющих могут быть как выше, так и ниже частоты основного сигнала, а их уровень на 10...15 дБ ниже уровня основного сигнала.

При малых скоростях движения протяженного объекта спектр сигнала подвержен более сильным „паразитным“ воздействиям, чем при высокой скорости. Это объясняется тем, что при малых скоростях движения объекта спектр обрабатываемого сигнала попадает в частотную область аддитивной помехи, спектр которой „накладывается“ на спектр доплеровского сигнала. В результате может происходить не только расширение обрабатываемого спектра, но и „расщепление“, что значительно снижает вероятность точного измерения частоты доплеровского сигнала.

Таким образом, на ширину спектра доплеровского сигнала наибольшее влияние оказывает ускорение движения протяженного объекта, при этом чем оно больше по абсолютной величине, тем шире энергетический спектр обрабатываемого сигнала, что полностью соответствует теоретическим результатам [1].

**Статистические характеристики аддитивных помех.** Статистической обработке были подвергнуты и аддитивные помехи, воздействующие на обрабатываемый полезный сигнал. Здесь можно выделить две группы. К первой группе относятся помехи, вызванные отражением от подстилающей поверхности различных предметов, находящихся в зоне действия РЛИ (при отсутствии объекта), внутренними шумами преобразователя и приемной антенны

измерителя. ПРВ аддитивной помехи в этом случае, как правило, отличается от гауссовой и имеет бимодальный характер,  $K_3 = 1,4 \dots 2,9$ ,  $K_a = -0,3 \dots +0,01$ ,  $M_1 \approx 0$ ,  $\sigma^2 \leq 0,005$ .

Ко второй группе следует отнести помехи, вызванные отражением от движущихся протяженных объектов, попавших в зону действия РЛИ вместе с исследуемым объектом. Заметим, что в этом случае взаимодействие помех с полезным сигналом может рассматриваться как аддитивное и(или) мультипликативное [1, 2]. ПРВ таких помех имеет бимодальный характер, при этом  $K_3 = 1 \dots 5$ ,  $K_a = -0,06 \dots +0,1$ ,  $M_1 \approx 0$ ,  $\sigma^2 \leq 0,24$ .

Фрагменты временных зависимостей аддитивных помех и их ПРВ, относящиеся к обеим группам, представлены на рис. 3, а, б соответственно.

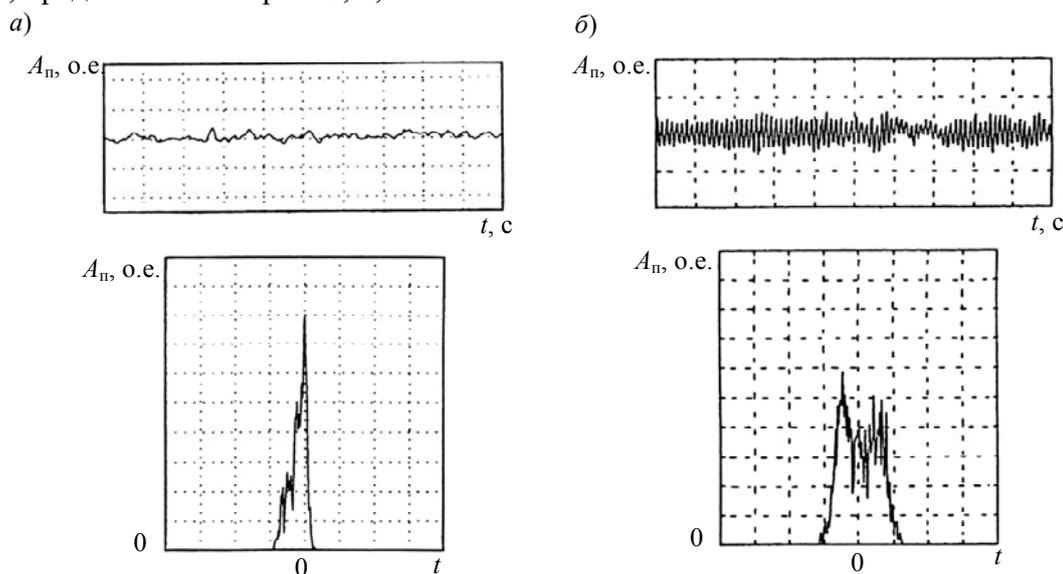


Рис. 3

Отметим, что анализ и обобщение полученных результатов производились по многочисленным (900—1000) фрагментам обрабатываемого сигнала для каждой из рассматриваемых моделей протяженного объекта. При этом запись сигнала осуществлялась более чем от 100 РЛИ. Кроме того, для получения наиболее полной статистической картины эксперименты проводились при различных климатических условиях.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной в рамках фундаментальной НИР, финансируемой из средств Министерства образования и науки РФ (гос. задание на 2014 г., код 226).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюшенко В. М. Исследование и разработка радиолокационного измерителя параметров движения протяженных объектов: Монография. М.: ФГБОУ ВПО ФТА, 2013. 214 с.
2. Воловач В. И. Методы и алгоритмы анализа радиотехнических устройств обнаружения ближнего действия: Монография / Науч. ред. проф. В. М. Артюшенко. М.: Радио и связь, 2013. 228 с.
3. Поздняк С. И., Мелитицкий В. А. Введение в статистическую теорию поляризации радиоволн. М.: Сов. радио, 1974. 514 с.
4. Атоянц Б. А., Езерский В. В. Распределение элементарных фаз в модели флуктуирующей цели // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1977. Т. 20, № 4. С. 106—108.
5. Теоретические основы радиолокации / А. А. Коростелев, Н. Ф. Клюев, Ю. А. Мельник и др.; Под ред. В. Е. Дулевича. М.: Сов. радио, 1978. 608 с.
6. Artyushenko V. M., Volovach V. I. Statistical characteristics of envelope outliers duration of non-gaussian information processes // Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, 27—30 Sept., 2013. Kharkov: KNURE, 2013. P. 137—140.

7. Артюшенко В. М., Воловач В. И. Анализ параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 9. С. 62—66.
8. Артюшенко В. М. Проектирование сетей подвижной связи с кодовым разделением каналов: Монография. М.: ФГБОУ ВПО ФТА, 2012. 204 с.
9. Артюшенко В. М., Воловач В. И. Экспериментальное исследование параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от протяженного объекта // Прикаспийский журн.: управление и высокие технологии. 2012. № 3(19). С. 17—24.
10. Артюшенко В. М., Воловач В. И. Особенности определения дальности действия радиотехнических устройств обнаружения охранных систем // Школа университетской науки: Парадигма развития. 2012. № 3 (7). С. 77—80.
11. Артюшенко В. М., Воловач В. И. Особенности отражения зондирующих сигналов радиотехнических устройств обнаружения от протяженных объектов сложной формы // Школа университетской науки: Парадигма развития. 2012. № 2 (6). С. 42—46.
12. Воловач В. И. Исследование плотности распределения вероятностей обнаружения объекта с учетом изменяющейся дальности // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2013. № 4. С. 71—75.

**Сведения об авторах**

- Владимир Михайлович Артюшенко** — д-р техн. наук, профессор; Финансово-технологическая академия, кафедра информационных технологий и управляющих систем, г. Королев; E-mail: artuschenko@mail.ru
- Владимир Иванович Воловач** — канд. техн. наук, доцент; Поволжский государственный университет сервиса, кафедра информационного и электронного сервиса, Тольятти; E-mail: ssunrise@mail.ru
- Виктор Васильевич Иванов** — д-р техн. наук, профессор; Поволжский государственный университет сервиса, кафедра информационного и электронного сервиса, Тольятти; E-mail: Ivanov@tolgas.ru

Рекомендована кафедрой  
информационного и электронного сервиса  
Поволжского государственного  
университета сервиса

Поступила в редакцию  
17.03.14 г.