

УДК 621.396.96

Е.Л. Казаков<sup>1</sup>, А.Е. Казаков<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> ГП Научно-дослідницький і проєктний інститут "Союз", Харків

## АДАПТАЦИЯ РЕАЛИЗАЦИЙ АМПЛИТУД ОТРАЖЕННЫХ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ В ОДНОПОЗИЦИОННОЙ РЛС

Излагаются методы адаптации огибающей амплитуд отраженных узкополосных сигналов с целью уменьшения времени обработки и повышения точности определения признаков распознавания радиолокационных целей. Приводится структурная схема системы адаптации.

**Ключевые слова:** радиолокационная цель, узкополосный сигнал, адаптивная обработка амплитуд, признаки распознавания.

### Введение

**Постановка проблемы.** В последнее время в научно-технической литературе подробно рассмотрены методы получения признаков распознавания радиолокационных целей (РЛЦ) при использовании различных видов сигналов. Однако, существует целый ряд факторов, которые затрудняют применение рассматриваемых признаков распознавания или увеличивают ошибки получения этих признаков. Для учета этих факторов целесообразно осуществлять адаптацию характеристик используемого радиолокационного сигнала с учетом имеющейся априорной информации о наблюдаемой цели. Адаптивные системы уже нашли широкое применение в радиолокации, в частности, системы адаптации к различным типам помех, к медленным изменениям сред распространения радиоволн, адаптивные антенные решетки и т. д. [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** До настоящего времени адаптация характеристик используемого для распознавания целей радиолокационного сигнала до сих пор подробно не рассматривалась. Только в статье [2] на основании рассмотрения общих принципов адаптации показана целесообразность ее использования при решении задачи распознавания. Однако, применительно к использованию адаптации для конкретных видов сигналов при распознавании РЛЦ исследования не проводились. Хотя для каждого вида радиолокационного сигнала имеют место особенности применения адаптации. В частности эти особенности присутствуют и при определении признаков распознавания целей по реализации амплитуд отраженного узкополосного радиолокационного сигнала в однопозиционной РЛС. Применение методов адаптации при использовании таких сигналов по-видимому повышает качество распознавания целей.

**Целью статьи** является рассмотрение методов адаптации реализаций амплитуд отраженных узко-

полосных сигналов для сокращения времени определения признаков распознавания и повышения их точности.

### Основной материал

При использовании отраженного от цели узкополосного радиолокационного сигнала основная информация содержится в огибающей амплитуд этого сигнала, наблюдаемого на некотором временном интервале. Данная огибающая амплитуд в силу ряда причин представляет собой случайный процесс. К этим причинам можно отнести:

– все измерения амплитуды отраженных сигналов измеряются с ошибками, которые зависят от соотношения сигнал/шум, изменения потенциала РЛС т. д.;

– в каждый класс распознаваемых целей могут входить объекты различных форм, реализация которых априори неизвестна, следовательно описание класса носит случайный характер;

– многие характеристики целей зависят от случайных или неизвестных параметров (углов ориентации, начальных условий наблюдения, деталей конструкций, помеховой обстановки), что вносит дополнительный элемент случайности.

В связи с вышеизложенным, как показано в [3, 4], в качестве признаков распознавания целей при использовании огибающей амплитуд отраженных узкополосных сигналов предлагается использовать получаемые при проведении корреляционной обработки этой огибающей признаки.

Следовательно, в этом случае, для получения признаков распознавания целей путем проведения корреляционной обработки огибающей амплитуд отраженного сигнала преобразуются определенные временные затраты. Эти затраты существенно зависят от типа наблюдаемой цели. Кроме того, огибающая амплитуд, представляющая собой случайный процесс, в зависимости от ракурса наблюдения цели имеет элементы нестационарности. Все это

может приводить к ошибкам получения признаков распознавания цели, а следовательно, повлияет на эффективность ее распознавания. Поэтому целесообразно рассмотреть адаптацию реализации амплитуд отраженных от цели сигналов ко времени наблюдения и нестационарности данного случайного процесса.

В связи с тем, что как показано выше, определение признаков распознавания цели производится при проведении обработки огибающей амплитуд отраженных сигналов на заданном временном интервале, необходимо определить данный временной интервал при наблюдении целей различных классов. Если заранее выбрать неизменный временной интервал, на котором производится обработка огибающей амплитуд, то для целей разных классов появятся ошибки, зависящие от количества лепестков данной огибающей, которые наблюдаются на данном интервале. Как показали проведенные исследования корреляционную обработку огибающей амплитуд отраженных сигналов (диаграммы обратного вторичного излучения) целесообразно осуществлять в пределах (8...10) ее лепестков. В тоже время, если РЛС при длине волны 3 см наблюдает бомбардировщик (размеры ~ 30 м) и крылатую ракету (размеры ~ 3 м), то средняя ширина лепестка диаграммы обратного вторичного отражения этих целей составляет соответственно ~ 0,06 град. и ~ 0,6 град. Это составит интервал усреднения для бомбардировщика 0,6 град., а для крылатой ракеты 6 град. таким образом, при проведении корреляционной обработки огибающей амплитуд отраженных от различных типов целей сигналов для получения признаков распознавания с одинаковыми величинами ошибок необходимо проводить адаптацию интервала усреднения под тип наблюдаемой цели. Адаптация будет сводиться к подсчету количества лепестков огибающей амплитуд отраженных сигналов и установления интервала усреднения при их количестве ~ 10 шт.

Следует обратить внимание также на то обстоятельство, что при проведении корреляционной обработки появляются ошибки, связанные с тем, что при ряде ракурсов наблюдения цели огибающие амплитуд представляют собой нестационарный случайный процесс (их средние значения на интервале наблюдения изменяются). Для подтверждения этого, в качестве примера, на рис. 1 приведена зависимость диаграммы обратного вторичного излучения цели конической формы с диаметром основания 150 мм и высотой 300 мм в секторе углов наблюдения  $\theta = (0...90)^\circ$  при длине волны  $\lambda = 3,3$  см на основной горизонтальной поляризации [5].

Данный рисунок подтверждает наличие существенной нестационарности в реализации огибающей амплитуд отраженных от цели сигналов. По-

этому перед проведением корреляционной обработки данных огибающих их необходимо приводить к нулевому среднему, например, по методу, описанному в [6].

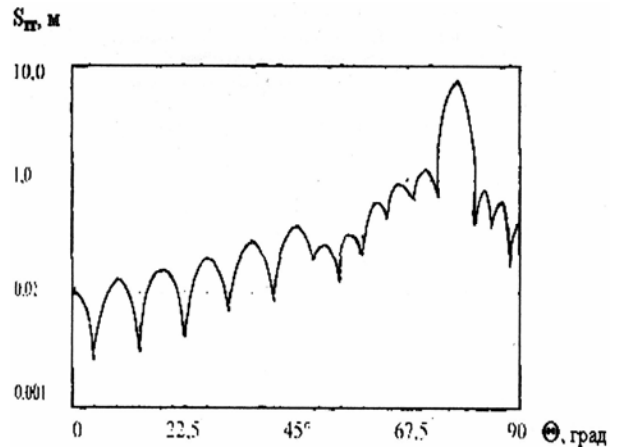


Рис. 1. Диаграмма обратного вторичного излучения цели конической формы

Этот метод приведения процесса к квазистационарному путем вычисления так называемого "текущего среднего"  $\left| \dot{E}_{O_{Tij}} \right|^2$  полученных реализаций квадратов огибающей амплитуд отраженных сигналов и дальнейшего центрирования данных реализаций путем вычитания из них полученных значений "текущего среднего" вычисляется по формуле:

$$\overline{\left| \dot{E}_{O_{Tij}}(m_y) \right|^2} = \frac{1}{m_y} \sum_{i=1+j}^m \left| \dot{E}_O(i+j) \right|^2, \quad (1)$$

где  $\overline{\left| \dot{E}_{O_{Tij}}(m_y) \right|^2}$  – значение "текущего среднего", которое приведено к началу интервала усреднения  $m_y$  (в принципе можно приводить к любому значению интервала усреднения);  $m_y$  – интервал усреднения, выраженный в количестве дискрет,

$$m_y = i+1; i+2, \dots, n; n \leq i; \quad (2)$$

$i$  – число дискретных значений реализаций  $\left| \dot{E}_{O_i} \right|^2; i = 1, 2, 3, \dots, n; j$  – сдвиг интервала усреднения  $m_y$  по азимуту (ракурс наблюдения),

$$j = 0, 1, 2, \dots, n - m_y - 2, n - m_y - 1. \quad (3)$$

После вычисления  $\overline{\left| \dot{E}_{O_{Tij}}(m_y) \right|^2}$  проводится центрирование полученных реализаций квадратов амплитуд отраженных сигналов по формуле

$$\left| \dot{E}_{O_{\alpha}}(\beta_i) \right|^2 = \left| \dot{E}_O(\beta_i) \right|^2 - \overline{\left| \dot{E}_{O_{Tij}}(m_y) \right|^2}, \quad (4)$$

где  $\beta_i$  – ракурс наблюдения по азимуту.

Центрированные значения реализации  $|\dot{E}_{O_{\Pi}}(\beta_i)|^2$  используются при дальнейшей ее обработке при определении рассмотренных в [3, 4], признаках распознавания.

С использованием экспериментальных данных, полученных методом физического моделирования [5], проведена проверка возможности приведения реализа-

ции огибающей амплитуд отраженных сигналов (на примере рассмотренного конуса).

Вначале был проведен расчет автокорреляционной функции квадратов огибающей амплитуд сигналов, отраженных от конуса, при проведении усреднения в диапазоне углов наблюдения  $\sim 25^\circ$  с носового ракурса. Данная автокорреляционная функция приведена на рис. 2.

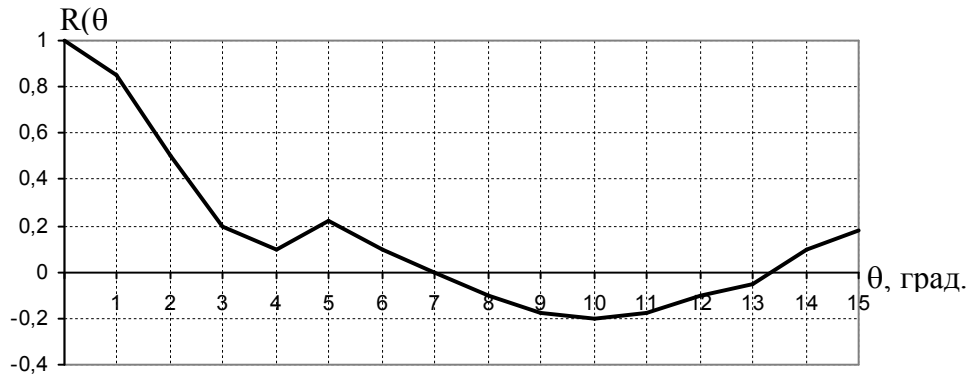


Рис. 2. Функция автокорреляции огибающей квадрата амплитуд отраженного от конуса сигнала нестационарного случайного процесса

Из данного рисунка видно, что функция автокорреляции квадратов огибающей амплитуд отраженных сигналов носит осциллирующий характер. Однозначно и точно определить по такой функции, например, время автокорреляции, достаточно трудно. Для устранения этого явления перед проведени-

ем расчетов автокорреляционной функции огибающей квадратов амплитуд отраженных сигналов проводилась по описанной выше методике к нулевому "текущему среднему". Рассчитанная по этой реализации автокорреляционная функция приобретает вид, показанный на рис. 3.

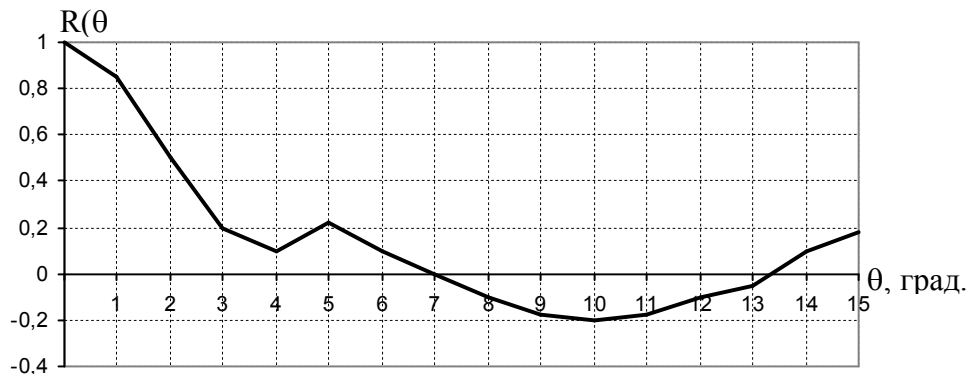


Рис. 3. Функция автокорреляции огибающей квадрата амплитуд отраженного от конуса сигнала нестационарного случайного процесса (использовалась предложенная методика)

Приведенные данные подтверждают целесообразность приведения огибающей амплитуд отраженных от цели сигналов к квазистационарному виду (адаптацию огибающей к искажениям, вызванным ее нестационарностью).

С учетом всего вышеизложенного на рис. 4 приведена структурная схема устройства, реализующего адаптацию огибающей амплитуд к интервалу наблюдения и к ее нестационарности

Работа схемы заключается в следующем.

С выхода приемника РЛС видеопульсы поступают на схему выделения огибающей амплитуд. На выходе данной схемы формируется напряжение, соответствующее квадратам огибающих амплитуд последовательности видеопульсов отраженных целью сигналов, а затем данное напряжение подается на вход пороговой схемы и вход счетчика, в котором производится подсчет количества лепестков в огибающей амплитуд. С выхода счетчика напряжение, пропорциональное количеству лепестков в оги-

баюющей амплитуд, поступаєт на второй вход пороговой схемы. В этой схеме установлен заданный уровень порога, при превышении которого пороговая схема закрывается, тем самым осуществляя выбор заданного временного интервала, на котором в дальнейшем производится после приведения огибающей амплитуд к квазистационарному виду ее

корреляционная обработка. Схема выделения огибающей, пороговая схема, схема определения среднего и схема разности образуют канал выделения огибающей. С выхода этого канала огибающая амплитуд отраженных сигналов, приведенная на выбранном временном интервале к квазистационарному виду, поступаєт на коррелятор.

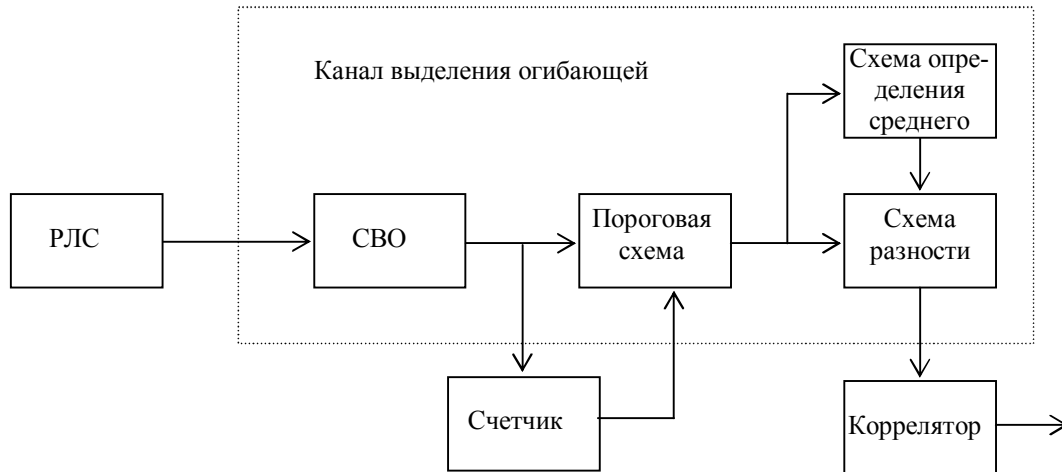


Рис. 4. Структурная схема устройства адаптации огибающей амплитуд отраженных сигналов

Таким образом описанное устройство позволяет производить адаптацию огибающей амплитуд отраженных сигналов в зависимости от типа наблюдаемой цели. После этого в однопозиционной РЛС становится возможным определять признаки распознавания РЛЦ с повышенной точностью.

### Вывод

Таким образом, рассмотренный метод адаптации реализаций амплитуд отраженных узкополосных сигналов в однопозиционной РЛС и устройство, реализующее этот метод, позволит уменьшить ошибки получения признаков распознавания при проведении корреляционной обработки данных реализаций.

### Список литературы

1. Радиозлектронные системы: Основы построения и теория: Справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана – М.: Радиотехника, 2007. – 510 с.
2. Казаков Е.Л. Целесообразность адаптации характеристик радиолокационных сигналов при решении

задачи распознавания радиолокационных целей / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2010 – Вип. 2 (14) – С. 43-50.

3. Казаков Е.Л. Распознавание радиолокационных целей по некоординатной информации при использовании простых сигналов / Е.Л. Казаков, В.П. Бзот // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: АНПРЭ, 2002. – т. 1, № 1 – С. 85-88.

4. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание целей по сигнальной информации / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков, Д.В. Рыжов, А.В. Колодийцев под ред. Е.Л. Казакова. – Х.: "КП міська друкарня", 2010. – 23 с.

5. Казаков Е.Л. Характеристики рассеяния радиолокационных целей / Е.Л. Казаков, В.П. Бзот, А.Е. Казаков. – Х.: КП типографія № 13, 2006. – 186 с.

6. Юшин В.И. Оптимальные интервалы осреднения при измерении статистических характеристик нестационарного процесса по одной реализации / В.И. Юшин // Автометрия. – М., 1966. – № 3 – С. 113-121.

Надійшла до редколегії 18.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АДАПТАЦІЯ РЕАЛІЗАЦІЙ АМПЛІТУД ВІДБИТИХ ВУЗЬКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОЗНАК РОЗПІЗНАВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ В ОДНОПОЗИЦІЙНІЙ РЛС

Є.Л. Казаков, О.Є. Казаков

Викладаються методи адаптації обвідної амплітуд відображених вузькосмугових сигналів з метою зменшення часу обробки і підвищення точності визначення ознак розпізнавання радіолокаційних цілей. Наводиться структурна схема системи адаптації.

**Ключові слова:** радіолокаційна ціль, вузькосмуговий сигнал, адаптивна обробка амплітуд, ознаки розпізнавання.

### ADAPTATION OF AMPLITUDES OF THE REFLECTED NARROW-BAND SIGNALS IN DETERMINING THE SIGNS OF RECOGNITION OF RADAR TARGETS IN THE RADAR STATIONS

E.L. Kazakov, A.E. Kazakov

The methods of adaptation of amplitudes of the reflected narrow-band signals in order to reduce the processing time and increase the accuracy of determination of detection of radar targets. Is a block diagram of the system adaptation.

**Key words:** radiolocation goal, narrow-band signal, adaptive processing of amplitudes, signs of recognition.