

УДК 621.396.96

Е.Л. Казаков¹, А.Е. Казаков²¹ Кировоградская летная академия НАУ, Кропивницкий² Харьковская государственная академия культуры, Харьков

ВОЗМОЖНОСТИ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТРАЖЕННЫХ МНОГОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ РЛС КРУГОВОГО ОБЗОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЗНАКОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

Рассмотрены основные методы и разработано устройство компенсации ошибок получения признаков распознавания целей, возникающих за счет влияния характеристик трактов различных классов РЛС при использовании многочастотных сигналов.

Ключевые слова: радиолокационный сигнал, радиолокационная цель, модуляция, коэффициент коррекции, амплитудные флуктуации, диаграмма направленности антенны, многочастотный сигнал.

Введение

Постановка проблемы. В последнее время в научно-технической литературе большое внимание уделялось вопросам распознаванию радиолокационных целей (РЛЦ) при использовании различных видов сигналов. На точность определения признаков распознавания целей оказывают существенное влияние характеристики трактов различных используемых классов РЛС. Поэтому необходимо рассмотреть возможности уменьшения этого влияния для повышения точности определения признаков распознавания.

В статье рассматриваются методы и устройства, позволяющие уменьшить влияние таких характеристик РЛС на признаки распознавания, как изменение потенциала РЛС, влияние диаграммы направленности антенны РЛС, отношение сигнал/шум на выходе приемника. Также рассматриваются методы уменьшения искажений амплитуд отраженных многочастотных сигналов (МЧС) разными факторами на получаемые признаки распознавания.

Предлагаемые методы рассматриваются применительно к РЛС кругового обзора и к РЛС сопровождения целей.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время адаптивные системы находят применение в таких областях, как биология, связь, радиолокация, гидролокация, сейсмология, проектирование механических систем, навигация и биомедицинская электроника [1, 2]. Широкое применение они нашли в радиолокации. В этой области рассматриваются адаптивные системы к различным типам помех, адаптивные антенные решетки, адаптация к ионосферным ошибкам, адаптация к медленным изменениям параметров сред распространения радиоволн и т. д. [3]. Однако, несмотря на проведенные подробные исследования по использова-

нию различных видов радиолокационных (РЛ) сигналов [2 – 5] для распознавания целей, вопросам компенсации ошибок получения признаков распознавания при использовании МЧС внимания не уделялось.

Целью статьи является рассмотрение общих принципов компенсации ошибок получения признаков распознавания и целесообразность ее применения при использовании МЧС.

Основной материал

При использовании в РЛС кругового обзора для определения признаков распознавания МЧС с перестройкой частоты от импульса к импульсу на точность получения этих признаков будут оказывать влияние временные флуктуации отраженных сигналов.

Рассмотрим коротко причины, порождающие амплитудные флуктуации отраженных от воздушных целей МЧС применительно к РЛС кругового обзора.

Амплитудные флуктуации возникают, во-первых, в результате модуляции отраженного сигнала движущимися частями воздушных целей (турбинами двигателей, воздушными винтами, антеннами бортовых РЛС и т.п.), во-вторых, вследствие изменения во времени ракурса цели относительно линии визирования РЛС. Влияние вращающихся турбин и компрессоров двигателей проявляется для длин волн короче 10 – 15 см, максимальная частота модуляции составляет несколько килогерц, поэтому при типовых значениях частоты следования импульсов в РЛС (менее 1 кГц) турбинную модуляцию можно рассматривать как слабокоррелированный аддитивный шум. Отношение мощности полезного сигнала и такого шума при $\lambda > 10$ см имеет порядок 20 дБ и более.

Модуляция, вызванная вращением воздушных винтов, наблюдается практически во всем диапазоне

длин волн РЛС и имеет порядок десятки-сотни герц. В этом случае время корреляции модуляционной составляющей сигнала оказывается порядка нескольких миллисекунд. Если время формирования некогерентного многочастотного сигнала сравнимо с этой величиной, то возможно перепутывание, например, вертолетов с самолетами больших размеров (бомбардировщиками). В последнем случае можно использовать различие в скорости полета для устранения ошибок такого рода.

Модуляция сигнала может быть вызвана также вращением антенн РЛС и прежде всего при обзоре передней полусферы воздушной цели. Максимальная частота вращения таких антенн может достигать 10 Гц, а размеры 1,5 м. Время корреляции сигнала, отраженного от вращающейся антенны, ограничено снизу величиной $\lambda/100$ секунд, если длина волны выражена в сантиметрах.

Вторая группа факторов, вызывающих временные флуктуации сигнала, связана с изменением ракурса цели, который содержит две переменные составляющие.

Первая обусловлена регулярным поступательным движением, а вторая – случайными колебаниями цели вокруг центра масс (рысканье), вызванными турбулентностью атмосферы.

Выполнив элементарные расчеты, можно показать, что оценка снизу для времени корреляции флуктуаций сигнала, связанных с движением цели, определяется выражением

$$\tau > \frac{\Phi_{0,5}}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (1)$$

где $\Phi_{0,5}$ – ширина лепестка диаграммы, обратного вторичного отражения цели на уровне 0,5;

α_1 и α_2 – максимальные угловые скорости изменения ракурса цели за счет поступательного движения и рыскания соответственно.

Значение α_1 зависит от скорости цели (V), дальности до нее (R) и ракурса цели β :

$$\alpha_1 = \frac{V \sin \beta}{R}. \quad (2)$$

По имеющимся экспериментальным данным в качестве оценки параметра α_2 для тяжелых самолетов можно принять величину $(2 \div 3) \cdot 10^{-3}$ рад/с. Ширина лепестка $\Phi_{0,5}$ связана с длиной волны РЛС и размером цели L соотношением

$$\Phi_{0,5} \geq \lambda / (2L).$$

Если длина волны выражена в сантиметрах, то для стратегического бомбардировщика ($L = 50$ м) при $R \geq 100$ км, $V \leq 300$ м/с, $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, приведенная выше оценка имеет следующий вид:

$$\tau > \lambda / 50, \text{ сек.}$$

Таким образом, при длине волны $\lambda \approx 10$ см можно считать, что время корреляции сигналов, отраженных от реактивных самолетов, составляет $\tau_k \approx 0,1$ сек. Наличие вращающейся антенны бортовой РЛС мало сказывается на времени корреляции. Если автокорреляционную функцию флуктуаций амплитуд отраженных сигналов на одной частоте с учетом движения цели аппроксимировать функцией типа $\sin x/x$, то выражение для временного коэффициента корреляции при $\tau_k = 0,1$ сек примет вид

$$\rho(\tau) = \frac{\sin 10\pi\tau}{10\pi\tau} \quad (3)$$

Проведенные расчеты показывают, что при осуществлении вращения антенны РЛС кругового обзора со скоростью 6 об/мин, частоте зондирования 350 Гц и ширине диаграммы направленности антенны 1 град. приемное устройство может принять пачку отраженных от цели сигналов, состоящих из 10 импульсов различных частот за время $t_{пр} = 0,028$ сек. Подставив в выражение (3) это время, получим значение коэффициента корреляции между амплитудами отраженных сигналов на одной из частот первого и десятого зондирования $\rho(0,028) = 0,875$.

Данные расчеты показывают, что амплитуды отраженных сигналов при перестройке частоты излучения от импульса к импульсу с частотой 350 Гц подвергаются 13% дополнительной модуляции, которая возникает за счет движения цели. Следовательно, при определении признаков распознавания ее необходимо учитывать.

Для уменьшения этой величины дополнительной модуляции за счет движения цели необходимо либо уменьшать количество используемых частот, либо повышать частоту излучения импульсов разных частот.

При распознавании целей по МЧС в РЛС кругового обзора необходимо учитывать также следующее:

- 1) на устройства, определяющие признаки распознавания, отраженные сигналы на различных частотах должны поступать одновременно и только от одной цели, то есть необходимо осуществлять стробирование видеотракта приемника РЛС по дальности (времени);
- 2) влияние диаграммы направленности антенны РЛС на амплитуду принятых на различных частотах сигналов;
- 3) зависимость мощности отраженных сигналов от дальности цели;
- 4) изменение потенциала РЛС по времени;
- 5) так как импульсы на любой из излучаемых частот могут оказаться в начале отраженной от цели пачки импульсов, то возникает необходи-

мость привязки значений амплитуд принятых сигналов к программе получаемых частот перед поступлением их на устройства определения признака распознавания.

На рис. 1 приведена структурная схема одного из возможных устройств учета перечисленных

факторов и особенностей РЛС перед вводом значений амплитуд отраженных сигналов в устройства определения признаков распознавания. Данная структурная схема содержит несколько различных схем. Рассмотрим последовательно работу каждой из них.

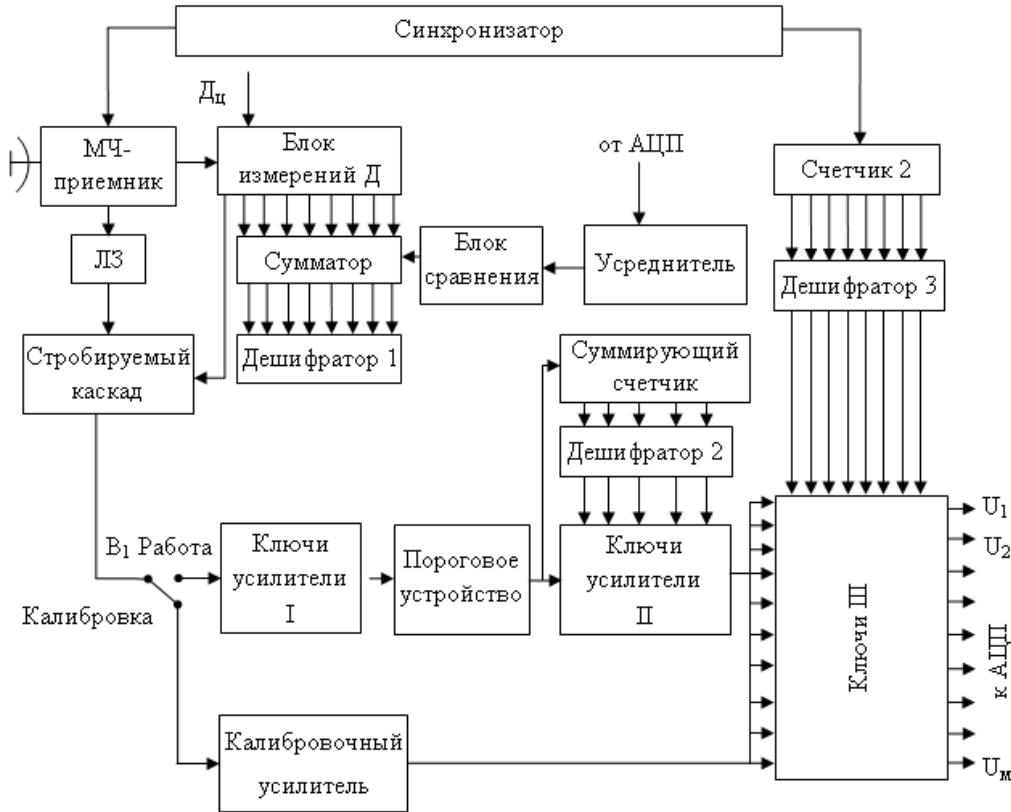


Рис. 1. Структурная схема устройства учета влияния особенностей РЛС

Отраженная от цели многочастотная пачка радиоимпульсов поступает в одноканальный приемник с перестраиваемым гетеродином в соответствии с частотами излученных сигналов, детектируется и поступает в блок измерения дальности до цели и формирования строба. Этот блок формирует на измеренной дальности (времени с момента излучения зондирующего сигнала) строб такой длительности, чтобы в него попал сигнал, отраженный только от одной цели.

Далее импульсы отраженной пачки задерживаются на время формирования строба, проходят стробируемый каскад и поступают на входы ключей-усилителей 1 схемы учета дальности до цели. В нее входят дешифратор 1 и упомянутый выше блок измерения дальности до цели.

В блоке измерения дальности до цели формируется двоичный код дальности, который поступает через сумматор на дешифратор 1. Дешифратор управляет включением соответствующих коду дальности ключей-усилителей 1.

Исследования эффективности распознавания некоторых типов целей, показали, что наиболее оп-

тимальными значениями отношения сигнал/шум на входе приемника для решения задачи распознавания являются величины (20...25) дБ [6]. Поэтому естественно предположить, что амплитуду отраженного от цели сигнала нужно изменить так, чтобы она соответствовала амплитуде отраженного сигнала с дальности R (рис. 2), на которой отношение сигнал/шум равно (20...25) дБ.

Эта дальность может быть либо вычислена при известных характеристиках РЛС, либо найдена экспериментальным путем.

Поскольку амплитуда отраженного сигнала обратно пропорциональна квадрату расстояния до цели, то коэффициент усиления ключей-усилителей следует выбирать пропорционально этой зависимости.

На рис. 2 сплошной и пунктирной линиями приведены соответственно качественные зависимости значений коэффициентов усиления усилителей и амплитуды отраженного сигнала от дальности до цели.

Рассмотрим работу схемы учета изменений потенциала РЛС и методику калибровки РЛС.

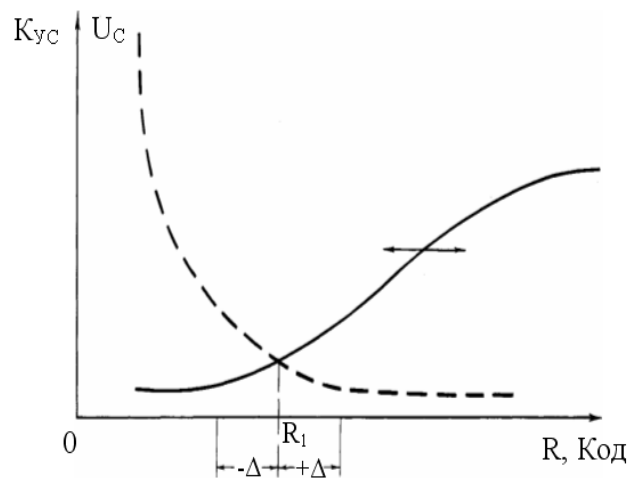


Рис. 2. Залежності значень коефіцієнтів усилення і амплітуди отраженного сигнала от дальности до цели

Так як отношение сигнал/шум, равное (20...25) дБ достигается, в основном, на средних дальностях, где значения коэффициентов ключей-усилителей в схеме учета дальности до цели меняется практически линейно, то влияние изменения потенциала РЛС на амплитуды отраженных сигналов можно учесть с помощью схемы, состоящей из усреднителя, блока сравнения и сумматора (рис. 1).

Основное изменение потенциала РЛС происходит за счет изменения чувствительности приемного устройства. Поэтому калибровку РЛС в режиме боевой работы целесообразно проводить по калибровочному сигналу, вводимому в раскрыв антенны. Для учета долговременных изменений потенциала РЛС за счет изменения мощности передающего устройства, погодных условий и др. необходимо осуществлять настройку описываемой схемы учета изменений потенциала.

Порядок настройки (калибровки) и работа схемы заключается в следующем. Периодически, во время регламентных работ или с изменением условий распространения радиоволн антенна РЛС устанавливается максимумом диаграммы направленности на какой-либо известный местный отражатель или вышку с установленным на ней эталоном (шар, уголковый отражатель).

В схеме устанавливается режим калибровки. При этом сигналы, отраженные от эталона, на всех частотах проходят через блок ключей-усилителей 1 и другие блоки с одинаковым для подобных настроек коэффициентом усиления на аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Коды амплитуд поступают на усреднитель и блок сравнения, где запоминается двоичный код усредненной по частоте амплитуды сигнала, отраженного от эталона. При этом блок измерения дальности формирует код „калибровочной дальности“, то есть включает один из ключей-усилителей 1, ко-

эффициент усиления которого подбирается таким, чтобы сигналы не ограничивались.

В режиме боевой работы подстройка схемы производится следующим образом. После излучения зондирующего сигнала (на малых дальностях) в схеме включается режим подстройки. При этом в раскрыв антенны приемного устройства вводится контрольный сигнал на той же частоте, что и зондирующий, калиброванной мощности.

Поступивший из АЦП код амплитуды контрольного сигнала сравнивается в блоке сравнения с хранившимся там кодом усредненной амплитуды сигнала, отраженного от эталона. Разность этих кодов со своим знаком поступает в сумматор в качестве поправки к коду дальности.

Затем включается режим боевой работы РЛС и поправка к коду дальности будет сохраняться до прихода контрольного сигнала на очередной частоте.

Из рис. 2 видно, что такая поправка к коду дальности как бы „сдвигает“ кривую зависимости коэффициентов усиления ключей-усилителей 1 вправо или влево при увеличении или уменьшении потенциала РЛС от первоначального. Очевидно, что такая схема осуществляет также корректировку АЧХ приемного тракта РЛС.

Рассмотрим далее работу схемы учета влияния диаграммы направленности антенны на амплитуды отраженных сигналов в режиме кругового обзора РЛС.

Предварительно заметим, что на малых дальностях цели пачка отраженных сигналов будет иметь число импульсов $M > 10$, так как отраженные сигналы будут приниматься в соответствии с диаграммой направленности по уровню $0,2 P$, а не $0,5 P$, как это предполагалось ранее.

Поэтому целесообразно на входе схемы учета диаграммы направленности установить пороговое устройство.

Таким образом, в состав описываемой схемы входит пороговое устройство, блок ключей-усилителей 2, дешифратор и суммирующий счетчик, который формирует двоичный код номера импульса в пачке. Код поступает на дешифратор 2, который открывает поочередно ключи-усилители 2, коэффициенты усиления которых устанавливаются пропорционально значениям огибающей пачки принятых сигналов. Огибающие пачки можно аппроксимировать функцией типа $\frac{\sin x}{x}$.

Схема разделения каналов не отличается по своему составу от предыдущей, нет только порогового устройства. Схема работает следующим образом. С синхронизатора поступают импульсы на счетчик 2 с частотой зондирования РЛС, при этом в счетчике формируется код номера излучаемой частоты. Обнуление счетчика осуществляется импульсом запуска РЛС на первой частоте. Данный код номера частоты излучаемого импульса поступает на дешифратор, который открывает соответствующий коду ключ.

Таким образом, при излучении импульсов с последовательно меняющейся частотой заполнения, будет открыт ключ номера частоты, на которой излучен зондирующий импульс. Выходы ключей могут быть подключены к АЦП и устройству определения признака распознавания.

Очевидно, что при работе в различных режимах и для различных РЛС могут не понадобиться некоторые из приведенных схем.

Так, например, при работе РЛС в режиме сопровождения цели отпадает необходимость учитывать диаграмму направленности РЛС.

Также необходимо отметить, что необходимость каждой из рассмотренных схем и целесообразность их использования именно в таком виде надо рассматривать при наличии конкретных характеристик РЛС.

Выводы

Таким образом, с помощью предложенных методов и устройства компенсации ошибок получения признаков распознавания можно учесть влияние характеристик трактов различных используемых РЛС и их особенности, которые оказывают существенное влияние на амплитуды отраженного много-частотного сигнала.

Список литературы

1. *Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория / Под ред. Я.Д. Ширмана. Справочник. – М.: Радиотехника, 2007. – 510 с.*
2. *Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я.Д. Ширман, С.А. Гориков, С.П. Леценко, Г.Д. Братченко // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 11. – С. 3 – 64.*
3. *Селекция и распознавание на основе локационной информации / Я.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн. Под ред. Я.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.*
4. *Расознавание радиолокационных целей по сигнальной информации / Е.Л. Казаков, Д.Г. Васильев, А.Е. Казаков, Д.Н. Рыжов, А.В. Коломийцев. Под ред. Е.Л. Казакова, - Х.: КП «Городская типография», 2010. – 231 с.*
5. *Адаптивная обработка сигналов в многопозиционных локаторах при определении признаков распознавания целей / Казаков Е.Л., Батулин О.В., Васильев Д.Г., Казаков А.Е., Коломийцев А.В. Под ред. Е.Л. Казакова. Монография – Х.: КП «Міська друкарня». 2012. – 133 с.*
6. *Казаков Е.Л. Расознавание радиолокационных целей по некоординатной информации при использовании простых сигналов / Е.Л. Казаков, В.Б. Бзот // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: ХНУРЭ, 2002. – Т. 1, № 2. – С. 155 – 164.*

Надійшла до редколегії 23.01.2017

Рецензент: д-р техн наук, с.н.с. В.М. Биков, Національний технічний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

МОЖЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЧАСОВИХ ФЛУКТУАЦІЙ ІНТЕНСИНОСТЕЙ ВІДОБРАЖЕНИХ БАГАТОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ І ОСОБЛИВОСТЕЙ РЛС КРУГОВОГО ОГЛЯДУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ОЗНАК РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ

Є.Л. Казаков, О.Є. Казаков

Розглянуті основні методи та розроблений пристрій компенсації помилок отримання ознак розпізнавання цілей, які виникають за рахунок впливу характеристик трактів різних класів РЛС при використанні багаточастотних сигналів.

Ключові слова: радіолокаційний сигнал, радіолокаційна мета, модуляція, коефіцієнт кореляції, амплітудні флукутації, діаграма спрямованості антени, багаточастотний сигнал.

THE POSSIBILITY OF ACCOUNTING FOR THE EFFECT OF TEMPORARY FLUCTUATIONS INTENSITIES OF THE REFLECTED MULTI-FREQUENCY SIGNALS AND FEATURES THE RADAR OF THE CIRCULAR REVIEW WHEN DEFINING THE CHARACTERISTICS OF TARGET RECOGNITION

E.L. Kazakov, A.E. Kazakov

The basic techniques and developed a compensation device error obtaining characteristics of target recognition that occurs due to the influence of the characteristics of paths of different classes of radar when using multi-frequency signals.

Keywords: radar signal radar target, modulation, correlation coefficient, amplitude fluctuations, antenna pattern, multi-frequency signal.