

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

д.т.н., проф. Е.Л. Казаков, к.т.н. В.Б. Бзот, к.т.н. А.В. Музыченко

В статье получены количественные значения показателей качества распознавания классов аэродинамических целей при использовании геометрических характеристик в качестве характерных признаков распознавания. На основе этого выделены характеристики, обеспечивающие высокую достоверность распознавания.

Постановка проблемы. Анализ перспектив развития и характера применения средств воздушного нападения в современных войнах и военных конфликтах доказывает, что средства противовоздушной обороны (ПВО) должны выполнять задачи по уничтожению воздушного противника в условиях сложной, быстроизменяющейся обстановки. В таких условиях качество выполнения задач ПВО непосредственно зависит от эффективности управления и боевого применения огневых средств с целью нанесения воздушному противнику максимальных убытков с учетом важности целей.

Повышение эффективности боевого применения зенитных ракетных комплексов (ЗРК) и систем (ЗРС) может быть достигнуто за счет распознавания классов (типов) воздушных целей противника не только радиолокационными средствами радиотехнических частей и подразделений, а и радиолокационными средствами ЗРК (ЗРС). Решение этой задачи позволит раскрыть замысел действий противника, осуществить эффективное целераспределение, сосредоточить огонь активных средств ЗРК (ЗРС) на наиболее важных целях или группах целей, и уточнить порядок обстрела целей.

Совокупность некоторых признаков распознавания аэродинамических целей (АДЦ) может быть получена по сигнальной информации радиолокационных станций (РЛС). Это обусловлено тем, что отраженный радиолокационный сигнал содержит в себе информацию о рассеивающих свойствах цели, ее ориентации в воздушном пространстве, параметрах относительного движения, геометрических размерах и о некоторых других параметрах. Форма и геометрические размеры АДЦ индивидуальны для различных классов и трудно поддаются имитации. Поэтому

использование сигнальных признаков распознавания в активной радиолокации, по которым возможно определение геометрических характеристик и скорости вращения АДЦ, представляется предпочтительным для решения задач распознавания по сравнению с другими сигнальными и траекторными признаками. Сигнальные признаки, наряду с используемыми траекторными, могут повысить информативность и достоверность процесса распознавания. Комплексное использование в системе ПВО возможно большего количества признаков распознавания повышает достоверность распознавания и затрудняет противнику возможность имитации этих признаков на ложных целях.

На основе этого в статье оценивается потенциальная возможность использования геометрических характеристик АДЦ в качестве характерных признаков распознавания.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам получения и исследования возможности использования сигнальных признаков для распознавания разных классов АДЦ посвящено большое количество опубликованных в открытой печати работ, например, [1 – 4].

Исследования по разработке методов получения сигнальных признаков и использование содержащейся в отраженном радиолокационном сигнале информации в интересах распознавания, развивались по нескольким направлениям [1 – 5]:

- исследование возможностей использования узкополосных импульсных сигналов в однопозиционных РЛС, излучаемых и принимаемых на одной или различных частотах и поляризациях;
- исследование возможностей распознавания с применением широкополосных импульсных сигналов со сплошным и дискретным спектром (многочастотные сигналы);
- применение для распознавания ВЦ сверхширокополосных импульсных сигналов.

Исследования показали, что в качестве признаков распознавания целей при узкополосном зондировании импульсными сигналами используют эффективную площадь рассеяния (ЭПР) целей, поляризационные и модуляционные признаки [1 – 3]. Использование ЭПР в качестве признака распознавания затруднено из-за возможности противолокационной имитации и маскировки, а также зависимостью этой характеристики от неточности измерения энергетики (мощности излучения) радиолокационной станции (РЛС) [1]. Получение информации о поляризационных свойствах цели дает наибольший эффект в метровом диапазоне. В дециметровом и сантиметровом диапазоне длин волн отраженный от цели сигнал имеет эллиптическую поляризацию, интерпретация которой при узкополосном зондировании затруднена [4].

Использование модуляционных признаков в сантиметровом диапазоне волн затруднено необходимостью применения зондирующих сигналов большой длительности, снижением наблюдаемости признака с увеличением дальности до цели, малой интенсивностью модуляционной составляющей спектра отраженного сигнала по отношению к "планерной" составляющей этого сигнала, затенением лопаток компрессора, являющихся источниками модуляционной составляющей, воздухозаборниками двигателей при ракурсах, близких к боковому [1].

Разработке методов определения геометрических характеристик и скорости относительного вращения АДЦ при использовании узкополосных импульсных сигналов в однопозиционных и разнесенных на местности РЛС уделялось недостаточное внимание.

При применении широкополосных сигналов используют одномерные и двумерные радиолокационные дальностные портреты, которые подвергают специальным методам обработки. На основании полученной информации оценивают форму, геометрические характеристики и скорость относительного вращения цели [1 – 3]. Однако формирование и обработка широкополосных сигналов вызывает трудности.

Кроме того, потенциальные возможности использования размеров цели для их распознавания также практически не рассматривались.

Цель статьи. Целью данной статьи является получение оценок потенциальной возможности (т.е. без учета влияния величины отношения "сигнал – шум", трассы распространения сигнала и характеристик приемопередающих трактов РЛС) использования геометрических характеристик в качестве признаков распознавания классов АДЦ. В качестве геометрических характеристик рассмотрены поперечный размер и коэффициент удлинения (отношение продольного размера к поперечному АДЦ).

Изложение основного материала. В работе проведена оценка возможности использования в качестве признака распознавания геометрических характеристик четырех классов АДЦ [1, 3]: крупноразмерных целей (КРЦ), среднеразмерных целей (СРЦ), малоразмерных целей (МРЦ) и вертолетов. Вертолеты выделены в отдельный класс по причине существенного отличия в скорости и возможности распознавания (селекции) по этому признаку на фоне целей других классов.

Для достижения поставленной в статье цели использовались результаты математического моделирования получения оценок геометрических характеристик АДЦ с использованием габаритных размеров рассматриваемых классов целей. Реально указанные характеристики могут быть получены в результате корреляционной обработки узкополосных сигналов в системе разнесенных на местности РЛС [6].

На рис. 1 показаны проекции продольного L_r и поперечного L_n размеров АДЦ в системе координат однопозиционной РЛС.

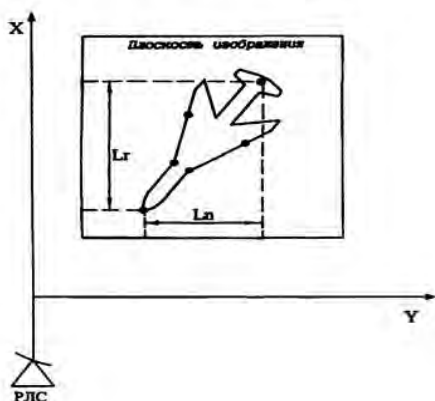


Рис. 1. Продольный и поперечный размеры АДЦ

Под продольным размером (L_r) аэродинамической цели следует понимать максимальное значение проекций ее габаритных размеров на линию визирования РЛС в зависимости от ракурса цели.

Под поперечным размером (L_n) аэродинамической цели следует понимать максимальное значение проекций ее габаритных размеров на ось, перпендикулярную линии визирования РЛС в зависимости от ракурса цели.

Коэффициентом удлинения аэродинамической цели L_0 называется отношение продольного размера к поперечному в зависимости от ракурса наблюдения цели $L_0 = L_r/L_n$ [6].

Исходя из тактических особенностей применения АДЦ относительно расположения РЛС на местности, расчеты L_r , L_n , L_0 проводились для углов наблюдения $\pm 45^\circ$ с интервалом $0,5^\circ$. По полученным данным рассчитаны средние значения и среднеквадратические отклонения поперечных, продольных размеров и коэффициента удлинения рассматриваемых классов АДЦ, которые приведены в табл. 1. Расчеты проводились на основе гипотезы о нормальном законе распределения указанных величин.

Полученные данные свидетельствуют о том, что по такому параметру, как поперечный размер, все классы целей, кроме вертолетов, будут достаточно хорошо распознаваться. Значения коэффициента удлинения L_0 для классов КРЦ и СРЦ близки, вследствие чего данный параметр не может использоваться в качестве признака распознавания класса КРЦ на фоне СРЦ и наоборот. Однако этот признак может быть использован для повышения эффективности распознавания МРЦ среди целей других классов. Отличия в значениях L_r для рассматриваемых классов АДЦ позволяют использовать данный параметр в качестве характерного признака распознавания. Однако возможность его получения ограничена необходимостью использования сверхширокополосных зондирующих сигналов.

Таблица 1

Средние значения и среднеквадратические отклонения продольного, поперечного размеров и коэффициента удлинения для рассматриваемых классов АДЦ

Класс АДЦ	$M'[L_r], \text{ м}$	$M'[L_n], \text{ м}$	$M'[L_0], \text{ м}$	$\sigma L_r, \text{ м}$	$\sigma L_n, \text{ м}$	σL_0
КРЦ	36,9	37,6	1,04	10,2	12,4	0,32
СРЦ	15,1	11,8	1,33	3,42	3,95	0,285
МРЦ	4,02	1,86	3,26	1,85	1,28	2,82
Верг.	11,2	5,82	2,3	3,85	2,7	1,34

Примечание. Знаком « $\bar{\cdot}$ » в таблице обозначено среднее арифметическое значение.

Исходя из сказанного, далее в работе в качестве характерных признаков распознавания классов АДЦ будут рассматриваться продольный размер цели L_n и ее коэффициент удлинения L_0 . Исследование возможностей определения поперечных размеров проводилось для однопозиционной РЛС, а коэффициента удлинения – для системы двух разнесенных на местности РЛС.

Для получения количественных показателей качества распознавания указанных классов целей построены гистограммы распределения выбранных признаков. В качестве примера на рис. 2 – 5 показаны гистограммы распределения поперечных размеров четырех классов АДЦ.

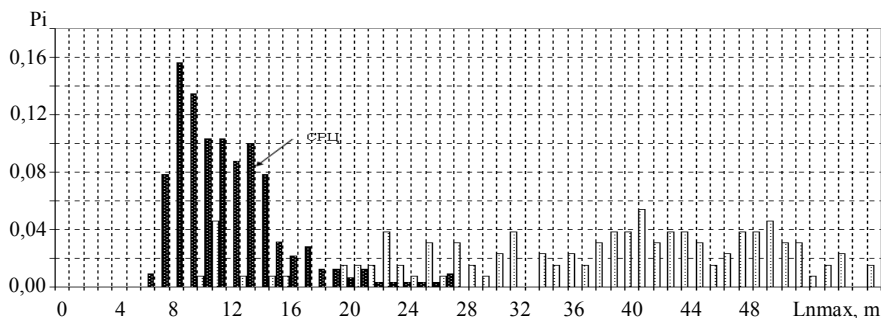


Рис. 2. Гистограмма распределения поперечных размеров для классов КРЦ и СРЦ

Из анализа гистограмм рис. 2 – 5 можно сделать вывод о том, что диапазоны возможных значений L_n для классов МРЦ и вертолетов, СРЦ и верто-

летов перекрываются существенно, для классов КРЦ и СРЦ, СРЦ и МРЦ перекрываются незначительно, а для КРЦ и МРЦ практически не перекрываются.

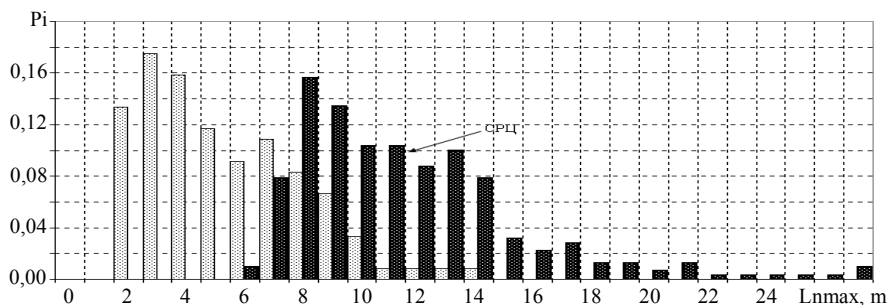


Рис. 3. Гистограмма распределения поперечных размеров для классов СРЦ и вертолетов

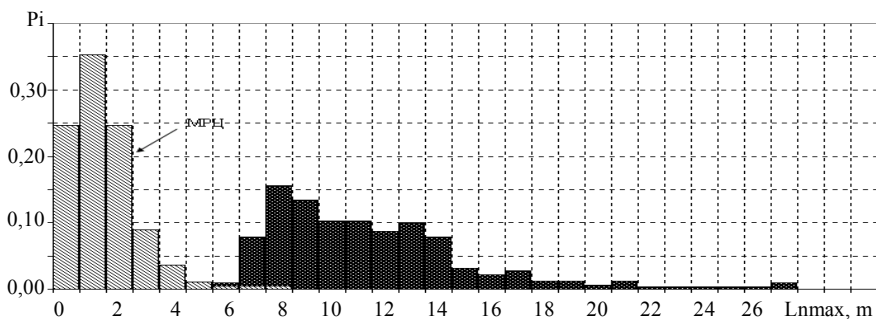


Рис. 4. Гистограмма распределения поперечных размеров для классов МРЦ и СРЦ

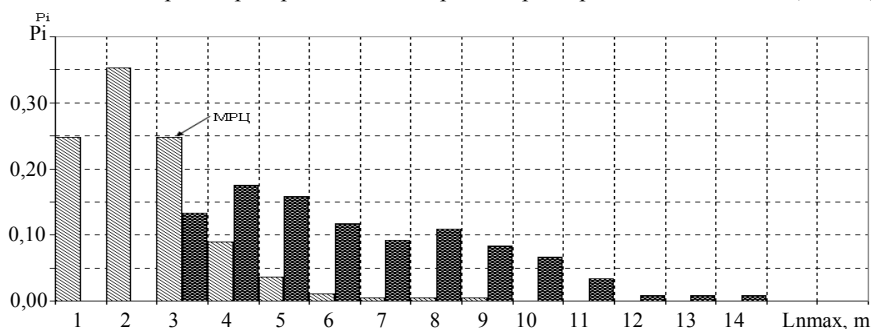


Рис. 5. Гистограмма распределения поперечных размеров для классов МРЦ и вертолетов

На основе анализа гистограмм распределения L_n рассматриваемых классов АДЦ получены следующие результаты:

а) при выборе порога $l_n = 20$ м вероятность правильного распознавания КРЦ на фоне класса СРЦ составляет $P_{\text{КРЦ/СРЦ}} = 0,995$, а класса СРЦ на фоне КРЦ – $P_{\text{СРЦ/КРЦ}} = 0,943$;

б) вероятность правильного распознавания класса СРЦ на фоне вертолетов при $l_n = 8$ м составляет $P_{\text{СРЦ/ВЕРТ}} = 0,91$, а вертолетов – $P_{\text{ВЕРТ/СРЦ}} = 0,78$;

в) вероятность правильного распознавания класса МРЦ на фоне вертолетов при $l_n = 3$ м составляет $P_{\text{МРЦ/ВЕРТ}} = 0,85$, а вертолетов – $P_{\text{ВЕРТ/МРЦ}} = 0,867$;

г) хорошо различаются по L_n класс СРЦ от класса МРЦ, при выборе $l_n = 6$ м вероятности правильного распознавания классов СРЦ и МРЦ соответственно равны: $P_{\text{СРЦ/МРЦ}} = 0,99$; $P_{\text{МРЦ/СРЦ}} = 0,98$.

При увеличении l_n вероятность правильного распознавания класса МРЦ на фоне вертолетов увеличивается, а вертолетов уменьшается. Однако, как указывалось выше, класс вертолетов может быть распознан (отсеleccionирован) по скорости.

Гистограммы совместного распределения коэффициента удлинения L_0 для рассматриваемых классов целей приведены на рис. 6 – 8.

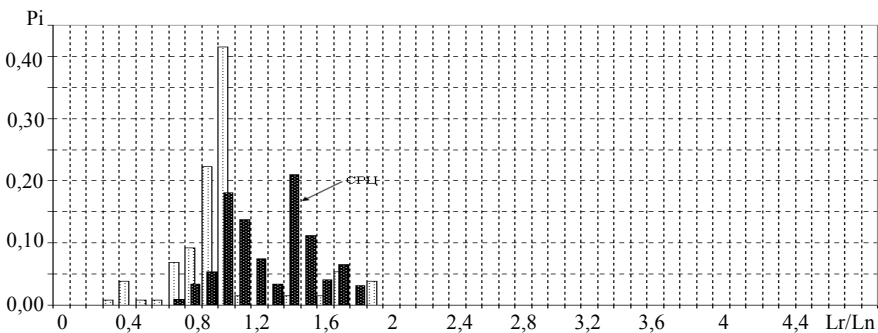


Рис. 6. Гистограмма распределения коэффициентов удлинения для классов КРЦ и СРЦ

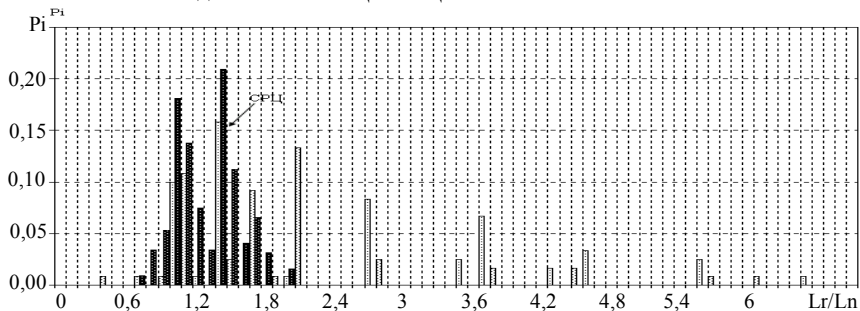


Рис. 7. Гистограмма распределения коэффициентов удлинения для классов СРЦ и вертолетов

Из рисунков видно, что диапазоны значений L_0 для классов КРЦ и МРЦ, МРЦ и СРЦ, МРЦ и вертолетов значительно перекрываются, что свидетельствует о нецелесообразности самостоятельного использования данного параметра в качестве характерных признаков распознавания для названных классов.

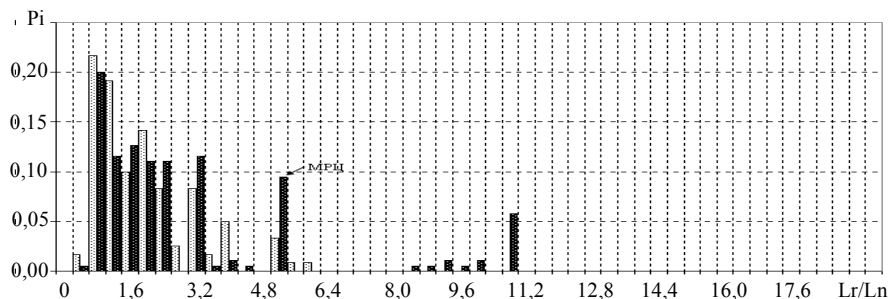


Рис. 8. Гистограмма распределения коэффициентов удлинения для классов МРЦ и вертолетов

Анализ этих гистограмм позволил получить следующие значения показателей качества распознавания при использовании коэффициента удлинения:

а) при выборе порога $l_0 = 1,6$ вероятность правильного распознавания вертолетов на фоне СРЦ составляет $P_{\text{МРЦ/СРЦ}} = 0,74$, а СРЦ на фоне вертолетов – $P_{\text{СРЦ/МРЦ}} = 0,85$.

б) при выборе порога $l_0 = 1$ вероятность правильного распознавания класса КРЦ на фоне СРЦ составляет $P_{\text{КРЦ/СРЦ}} = 0,86$, а СРЦ на фоне КРЦ – $P_{\text{СРЦ/КРЦ}} = 0,9$.

Выводы. Из проведенного анализа потенциальных возможностей использования геометрических характеристик в качестве признаков распознавания классов АДЦ можно сделать следующие выводы.

1. Поперечные размеры АДЦ могут использоваться в качестве характерных признаков распознавания классов АДЦ; при этом достигаются достаточно высокие значения показателей качества распознавания.

2. Средние значения, среднеквадратические отклонения величин L_n и L_0 могут использоваться при распознавании класса вертолетов; при распознавании других классов АДЦ данные параметры могут использоваться только в качестве уточняющих параметров.

3. Коэффициент удлинения L_0 АДЦ может использоваться в качестве признака распознавания только для классов КРЦ и СРЦ, СРЦ и вертолетов.

Таким образом, проведенный в статье анализ свидетельствует о высоких потенциальных возможностях использования указанных геометрических характеристик для распознавания классов аэродинамических целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Леценко С.П., Братченко Г.Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1996. – № 11. – С. 3 – 64.
2. Небабин В.Г., Сергеев В.В. Методы радиолокационного распознавания. – М.: Радио и связь, 1984. – 152 с.
3. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
4. Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса: Одесский институт управления и менеджмента, 1999. – 230 с.
5. Бзот В.Б., Казаков Е.Л., Коваленко О.І., Шостачук Д.М. Удосконалена математична модель описання відбивальних властивостей радіолокаційної цілі // *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*. – 2001. – Вип. № 18. – С. 60 – 63.
6. Казаков Е.Л., Бзот В.Б. Корреляционная обработка некоординатной информации о радиолокационной цели, наблюдаемой системой разнесенных РЛС // *Системи обробки інформації*. – Х.:НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 4 (34). – С. 83 – 85.

Поступила 30.11.2004

КАЗАКОВ Евгений Леонидович, доктор техн. наук профессор, главный научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных исследований – теория распознавания различных классов радиолокационных целей

БЗОТ Владимир Брониславович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных исследований – методы получения признаков распознавания воздушных целей

МУЗЫЧЕНКО Андрей Владимирович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник – заместитель начальника отдела Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных исследований – характеристики вторичного излучения радиолокационных объектов и их использование в интересах распознавания.