

# ОБОСНОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ МАЛОВЫСОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

Нефёдов Д. С., Курилович В. В., Панасюк М. Н.  
Научно-исследовательская часть, факультет противовоздушной обороны,  
Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: noof85@mail.ru

*В докладе обоснована целесообразность использования спектрального портрета для распознавания класса маловысотного летательного аппарата в пассивной системе электростатической локации. В качестве информативных признаков предложено использовать ширину планерной составляющей и центральную частоту модуляционной составляющей амплитудно-частотного спектра возмущений напряженности электрического поля.*

## ВВЕДЕНИЕ

Третьим этапом получения локационной информации принято считать распознавание. Задача распознавания представляет собой установление принадлежности объекта наблюдения к определенному классу, например, вертолет, стратегический бомбардировщик, ложная цель. Решение задачи распознавания, как правило, осуществляется на основании сравнения локационного портрета объекта наблюдения с эталонными портретами объектов распознаваемых классов [1].

Эталонные портреты, представляют собой априорно известное распределение параметров сигналов, создаваемых объектами распознаваемых классов при их наблюдении в системе локации. Априорные портреты могут быть получены методом математического моделирования или экспериментально.

В электростатической локации летательных аппаратов (ЛА) задача распознавания может быть решена путем сравнения, зарегистрированных возмущений напряженности электрического поля с возмущениями, создаваемыми одним из распознаваемых классов ЛА. Исходя из практических приложений системы пассивной электростатической локации, которые включают обнаружение маловысотных ЛА и автономные системы поражения вертолетов, в качестве распознаваемых классов целесообразно выделить самолет тактической авиации (ТА), крылатую ракету (КР) и вертолет.

### I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

По аналогии с радиолокацией, задачу распознавания в электростатической локации можно разделить на следующие этапы [2]:

1. Выбор типа портрета (дальномерный, картинный, спектральный).

2. Анализ информационных признаков портрета, характеризующих его принадлежность к распознаваемым классам.
3. Формирование базы данных эталонных портретов распознаваемых классов.
4. Сравнение полученного в результате наблюдения портрета ЛА с эталонными и присвоение ему степени соответствия тому или иному классу.

Эффективность решения многоальтернативной статистической задачи распознавания в значительной мере зависит от обоснованности решений, принятых на этапах 1—3.

В электростатической локации наблюдению доступна реализация возмущений напряженности электрического поля. Распознавание основано на предположении зависимости временной структуры возмущений электрического поля от типа объекта их порождающих. Подтверждением сказанному являются результаты экспериментальных исследований [3, 4].

Также в результате исследований получено, что выбор типа портрета зависит от расстояния между наблюдаемым ЛА и электростатическим датчиком.

На расстояниях более 20...30 метров ЛА представляется как точечный заряд. В этом случае использование дальномерного или картинного портрета невозможно ввиду отсутствия разрешения элементов ЛА. Поэтому для решения задачи распознавания целесообразно рассмотреть спектральные портреты ЛА.

### II. АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПОРТРЕТОВ МАЛОВЫСОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Спектральный портрет (амплитудно-частотный спектр) маловысотных ЛА в электростатической локации может быть получен путем преобразования Фурье сигнала на выходе чувствительного элемента датчика. При использовании электростатического датчика с диффе-

ренцирующим преобразователем напряженности электрического поля в напряжение, временная структура сигнала на его выходе описывается выражением [5,6]:

$$U_s(t) = -3\lambda_a \lambda_\tau^3 (\lambda_\tau^2 + t^2)^{-\frac{5}{2}} \quad (1)$$

$$\lambda_\tau = \frac{(P^2 + H^2)^{\frac{1}{2}}}{V} \quad (2)$$

где  $\lambda_a$  - амплитуда полезного сигнала ЛА, В/м;  $\lambda_\tau$  - временной параметр полезного сигнала, зависящий от траекторных параметров ЛА, с;  $H$  - высота полета ЛА, м;  $P$  - параметр полета ЛА относительно точки наблюдения, м. Амплитудно-частотный спектр сигнала (1) описывается выражением:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} U_s(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (3)$$

На рисунке 1 представлены усредненные нормированные АЧС самолета ТА, КР и вертолета.

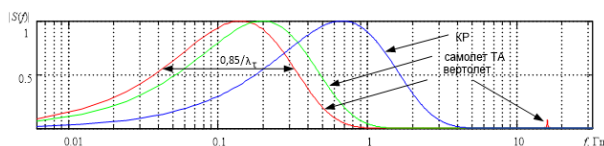


Рис. 1 – Усредненные нормированные АЧС различных классов ЛА

В результате анализа АЧС можно сделать следующие выводы:

1. АЧС всех распознаваемых классов маловысотных ЛА содержит основную (планерную) составляющую на частотах 0,1...2 Гц. Планерная составляющая обусловлена перемещением заряда корпуса ЛА относительно точки размещения электростатического датчика.

2. Ширина планерной составляющей АЧС зависит от временного параметра и равна  $0,85/\lambda_\tau$ .

Как видно из выражения (2), временной параметр определяется диапазоном высот и скоростей полета маловысотных ЛА. На основании анализа летно-технических характеристик распознаваемых классов ЛА получено, что диапазоны значений временного параметра отличаются. Области возможных значений параметра  $\lambda_\tau$  самолетов ТА, КР и вертолета изображены на рисунке 2.

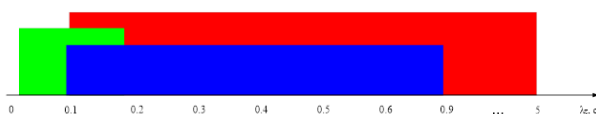


Рис. 2 – Усредненные нормированные АЧС различных классов ЛА

Таким образом, в качестве первого информационного признака целесообразно выбрать ширину планерной составляющей АЧС.

3. В отличие от КР и самолетов ТА, АЧС вертолета содержит вторую (модуляционную) составляющую которая обусловлена вращением несущего винта. Центральная частота модуляционной составляющей определяется произведением скорости оборота несущего винта на количество лопастей и для современных вертолетов принимает значение 10...30 Гц [3].

Наличие модуляционной составляющей и ее центральная частота АЧС вертолета являются вторым информационным признаком для решения задачи распознавания. Примечательно, что по измеренному значению центральной частоты модуляционной возможно установление типа вертолета (Ми-8, Ми-24, АН-64 и др.).

4. Отношение сигнал/шум для планерной и модуляционной составляющих на дальностях до ЛА 150...200 м составляет не менее 15 дБ, что позволяет решать задачи оценки информационных признаков и распознавания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распознавание ЛА в электростатической локации целесообразно производить по их спектральным портретам. В качестве информационных признаков спектральных портретов маловысотных ЛА, необходимо использовать ширину планерной составляющей, а также центральную частоту модуляционной составляющей АЧС. Разработка алгоритмов распознавания является направлением дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба / А.Е.Охименко. – М.: Воениздат, 1983. – 456 с.
2. Радиолокационное распознавание: теоретические основы радиолокации / Я.Д.Ширман [и др.]. – Харьков, 1994. – 122 с
3. Исследование характеристик сигналов электростатической локации, создаваемого вертолетом: материалы XV международной конференции молодых ученых НАН РБ 29.10.2018 – 01.11.2018/НАН РБ.
4. Мелец, А.Ф. Экспериментальные исследования по оценке скорости полета неуправляемых авиационных ракет с использованием модуля пассивной электростатической локации / А.Ф. Мелец, Д.С. Нефедов // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. – 2015. – №4. – С. 96-103.
5. Успенский, А. К. Вопросы теории и техники использования электростатических полей для локации объектов: дис. ... д-ра техн. наук / А. К. Успенский. – Минск: МВИЗРУ ПВО, 1979. – 414 с.
6. Мелец, А. Ф. Обнаружение и дистанционное измерение электрического заряда маловысотных аэродинамических объектов: дис. ... канд. техн. наук / А. Ф. Мелец. – Минск: МВИЗРУ ПВО, 1991. – 193 с.