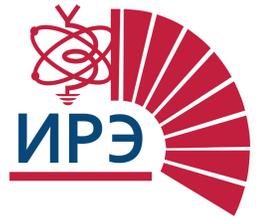




МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАБОТЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ПТИЦ НА ОСНОВЕ МИКРОДОПЛЕРОВСКИХ СИГНАТУР В СРЕДЕ ENGEE

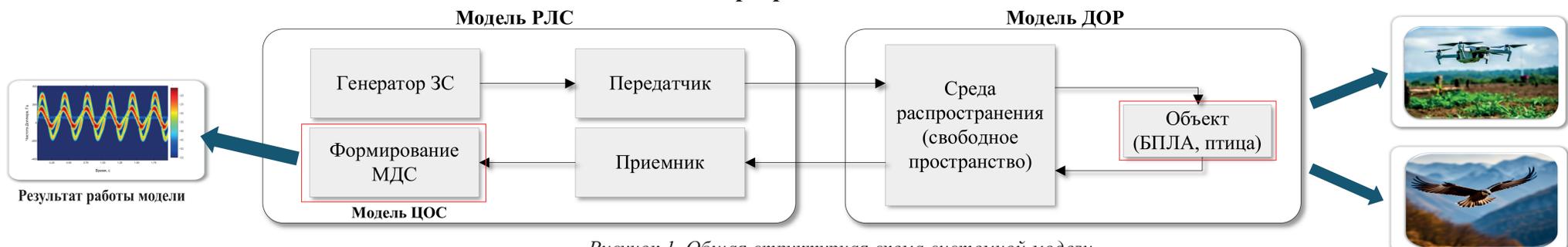


Докладчик: аспирант каф. ОРТ «НИУ МЭИ» Семичастнов А.Е.
 Научный руководитель: к.т.н., доц. каф. ОРТ «НИУ МЭИ» Балакин Д.А.

Цель работы

Разработка системной модели радиолокационной системы (РЛС), диаграммы обратного рассеяния (ДОР) малоразмерных объектов и алгоритмов цифровой обработки сигнала (ЦОС) с целью увеличения эффективности классификации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и птиц. Характерным признаком классификации является спектрограмма отраженного от цели сигнала - микродоплеровская сигнатура (МДС).

Этапы разработки модели



Описание МДС

Определение

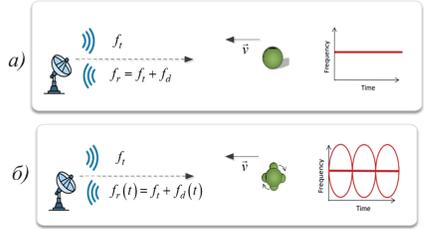
Микродоплеровские сигнатуры (МДС) – модуляция спектра отраженного сигнала, вызванная в результате микродвижений объекта.

Источником микродвижения может быть вибрирующая поверхность, вращающиеся лопасти несущего винта вертолета, идущий человек с раскачивающимися руками и ногами, машущие крылья птицы или другие причины. Изменение ЭПР во времени при движении объекта описывается формулой (1):

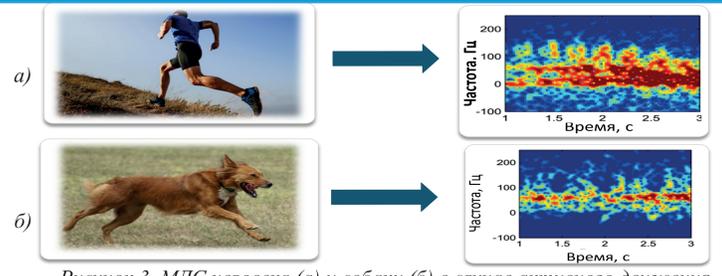
$$\sigma(t) = \sigma_b + \sigma_p(t), \quad (1)$$

где σ_b - постоянная составляющая ЭПР, $\sigma_p(t)$ - переменная составляющая характеризующая микродвижения объекта.

Теоретическое рассмотрение



Примеры



1. Модель ДОР

БПЛА

В качестве модели конкретного прототипа винта, используется винт квадрокоптера DJI Phantom 3, изображение которого представлено на рисунке 4.

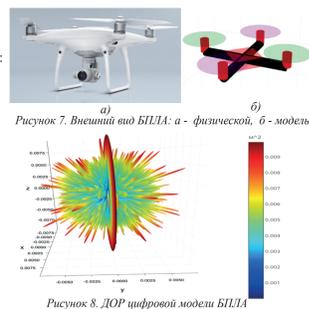
Анализ сечения и линии кромок лопасти по мере удаления от ее корня к концу позволяет сделать следующие выводы:

- толщина кромки (передней и задней) в разных сечениях различна, однако закономерно уменьшается к концу лопасти;
- кромка меняет свою форму, отклоняясь от прямой линии, по мере удаления от корня лопасти.

Описание ЭПР отражателей винта описывается выражением (2):

$$\sigma_{\text{винт}}(g, k) = \sigma_a \left[K_{\text{пл}} + \frac{N_{\text{пл}} - n_{\text{пл}}(g, k)}{N_{\text{пл}}} \right] \quad (2)$$

На основе модели БПЛА DJI Phantom 3 разработана цифровая модель (рисунок 7.б) и его диаграмма обратного рассеяния (рисунок 8):

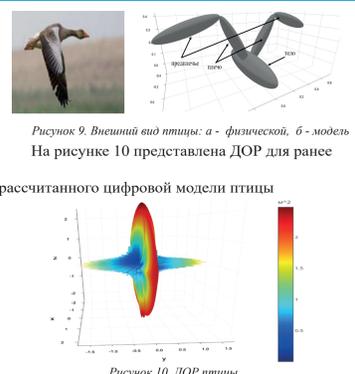


Птица

Основными элементами крыла, формирующими микродоплеровские сигнатуры, являются плечевая кость и предплечье. Кисть практически не влияет на спектр отраженного сигнала ввиду небольших размеров, поэтому для простоты кисть и предплечье рассматриваются как единый элемент. Такие элементы с хорошей точностью можно описать с помощью эллиптического тела (эллипсоида), ДОР которого аппроксимируется выражением (3).

$$\sigma_{\text{эллип}}(\theta, \varphi) = \frac{\pi a^2 b^2 c^2}{(a^2 \sin(\theta) \cos^2(\varphi) + b^2 \sin^2(\theta) \sin^2(\varphi) + c^2 \cos^2(\theta))} \quad (3)$$

где a, b, c – длина полуосей эллипсоида, φ – азимутальный угол, θ – полярный угол.



2. Модель РЛС

Генератор зондирующего сигнала

Одним из часто используемых сложных сигналов в радиолокации является сигнал с непрерывным сигналом с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). При ширине спектра $\Delta f = 100$ МГц и длительности импульса 5 мс разрешение по дальности и скорости станут равны 1.5 м и 1.5 м/с соответственно:

$$\Delta R = \frac{c}{2\Delta f_c} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = 1.5 \text{ м}; \quad (3)$$

$$\Delta V_R = \frac{\lambda}{2T_n} = \frac{3 \text{ см}}{2 \cdot 5 \text{ мс}} = 3 \text{ м/с} \quad (4)$$

Внешний вид осциллограммы и спектрограммы ЛЧМ-сигнала с полосой 100 МГц и скоростью нарастания частоты 100 МГц/мс приведены на рисунках 11 и 12 соответственно:

Цифровая обработка сигнала

Цифровая обработка включает в себя следующие функциональные блоки:

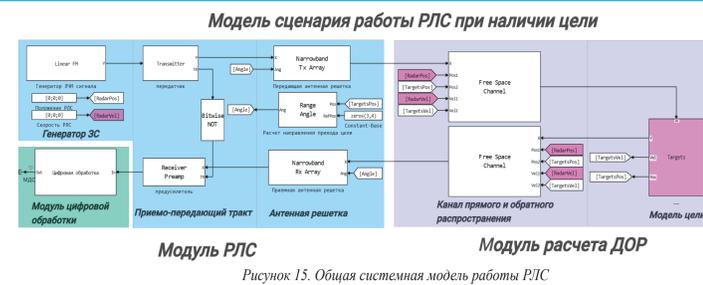
- **Формирование луча:** складывает сигналы, принятые каждым излучателем с учетом задержки фазы;
- **Буфер:** реализует накопление пачки импульсов;
- **Кратковременное преобразование Фурье (КПФ):** расчет спектрограммы накопленного сигнала методом скользящего окна.



Ключевой блок в цифровой обработке отраженного сигнала, формирующий МДС, является КПФ. Преобразование реализуется с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) на коротком промежутке времени в сравнении с длительностью накопления импульсов. Временной интервал сегментируется с помощью оконной функции.

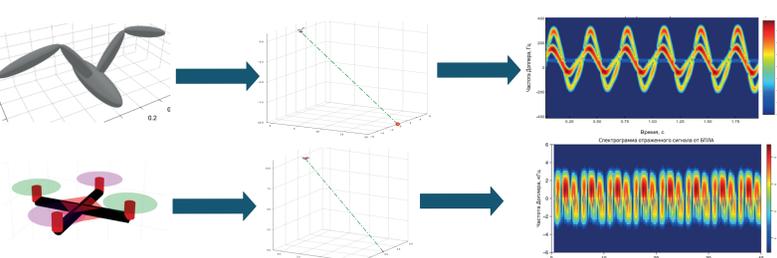
Системная модель РЛС в среде Engage

Модель сценария работы РЛС при наличии цели



3. Сценарии работы системной модели

Создание сценария работы РЛС



Вариация сценариев полета объектов

Таблица 1. МДС для птицы и БПЛА при варьировании дальности

Тип объекта	Дальность до объекта		
	200 м	400 м	800 м
Птица			
БПЛА типа квадрокоптер			

Таблица 2. МДС различных типов БПЛА при изменении скорости

БПЛА 1-роторный (вертолетной тип)	БПЛА 4-роторный (квадрокоптер)	БПЛА 6-роторный (гексакоптер)	БПЛА 8-роторный (октокоптер)