

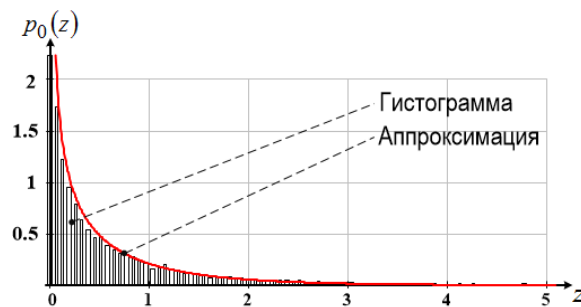


Рисунок 3 – Плотность вероятности предпороговой статистики $p_0(z)$, полученная согласно алгоритма (1)

Заключение. Получено аналитическое выражение ЗР случайной величины, путем преобразования экспоненциально распределенных случайных величин согласно алгоритму (1). Плотность распределения вероятности выражается через функцию Ламберта и зависит от протяженности ОШП по элементам дальности и по элементам скорости. Таким образом, порог обнаружения, обеспечивающий заданную условную вероятность ложной тревоги, может выбираться с использованием полученной аппроксимации.

1. Чигирь, И.В. Анализ воздействия комбинированной имитирующей и маскирующей помехи на системы сопровождения по дальности и скорости радиолокаторов точного измерения координат / И.В. Чигирь, С.А. Горшков, Н.К. Кузьмичев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2018. – № 1 (58). – С. 71–81.

2. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие / В.Б. Алмазов [и др.]. – Харьков: ХВУ, 1996. – Ч. 2. – 466 с.

3. Горшков, С.А. Плотность вероятности предпороговой статистики адаптивного обнаружителя гауссовских быстро флуктуирующих сигналов неизвестной интенсивности на фоне гауссовской некоррелированной помехи / С.А. Горшков, М.В. Крикливый // 3-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2008. Сб. науч. тр. Т. 1. Междун. конф. «Современные и перспективные системы радиолокации, радиоастрономии и спутниковой навигации». – Ч. 1. – Харьков АНПРЭ, ХНУРЭ, 2008. – С. 156–159.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МАЛОРАЗМЕРНОГО БПЛА DJI PHANTOM 4 PRO

Чигирь В.Г.,

*слушатель магистратуры кафедры автоматики, радиолокации
и прямо-передающих устройств УО «ВА РБ», г. Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Храменков А.С., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Эффективная отражающая поверхность, беспилотный пилотируемый летательный аппарат.

Keywords. Radar Cross Section (RCS), Unmanned Aerial Vehicle (UAV).

Повышение эффективности боевого применения малоразмерных беспилотных пилотируемых летательных аппаратов (БПЛА) требует непрерывного развития средств противодействия им [1]. Эффективное противодействие возможно при своевременном решении задачи радиолокационного обнаружения БПЛА. Одним из важнейших параметров, определяющих дальность обнаружения, является эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели [2]. Задача измерения ЭОП является сложной практической задачей. Это обусловлено необходимостью учета множества различных факторов [2]. В связи с этим, получение достоверных значений ЭОП малоразмерных БПЛА предполагает использование различных методов измерения.

Целью работы является получение количественной оценки отражательных свойств малоразмерного БПЛА DJI Phantom 4 PRO.

Материал и методы. Важной практической задачей является оценивание зависимости ЭОП от угла ориентации относительно радиолокатора на цель. Данная зависимость представляет собой диаграмму обратного вторичного излучения (ДОВИ) и

может быть получена путем: электродинамического моделирования или экспериментального измерения полей рассеяния реальной цели (масштабной модели).

Для проведения исследований ЭОП малоразмерного БПЛА с помощью систем электродинамического моделирования использовалось программное обеспечение CST STUDIO SUITE 2019 компании CST (Германия). Модель получена из интернет-ресурса GRABCAD.

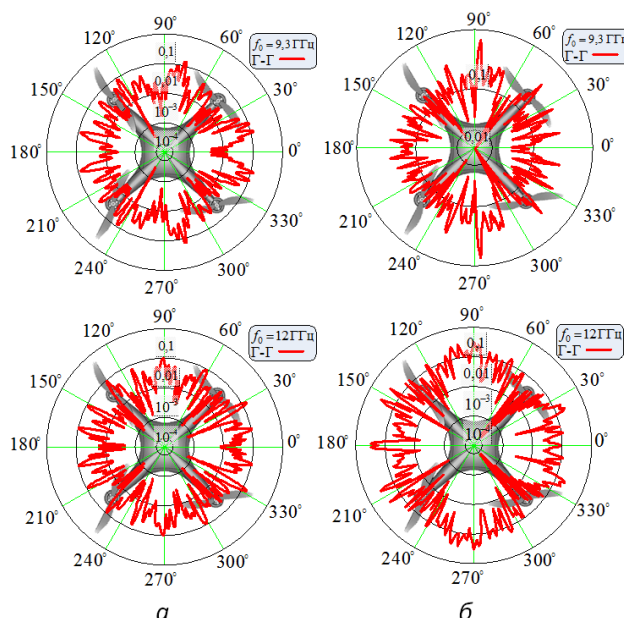


Рисунок 1 – ДОВИ, полученные методом: *а* – математического моделирования, *б* – в СШП АИВК

Экспериментальное измерение полей рассеяния реальной цели проводилось в безэховой камере (БК) на базе УО «Военная академия Республики Беларусь» и с помощью сверхширокополосного автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса (СШП АИВК) на базе РНПУП «Центр радиотехники НАН Беларуси». В качестве малоразмерного БПЛА использовался реальный квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO. Исследования проводились применительно к частотам 9,3 и 12 ГГц на линейной горизонтальной поляризации.

Результаты и их обсуждение. В результате измерений были получены ДОВИ на азимуте $\beta = 0^\circ - 360^\circ$ для трех фиксированных значений угла тангажа $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$.

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что измерения в БК имеют низкую точность из-за технических характеристик аппаратуры. Среднее значение ЭПР составило $\sigma_{\text{ср}} = -20 \dots -25$ дБ, в то время как в CST и СШП АИВК $\sigma_{\text{ср}} = -7 \dots -16$ дБ. Вследствие чего, дальнейший анализ целесообразно проводить по результатам, полученным с помощью CST и СШП АИВК. На рисунке 2 приведены ДОВИ, полученные при $\theta = 0^\circ$.

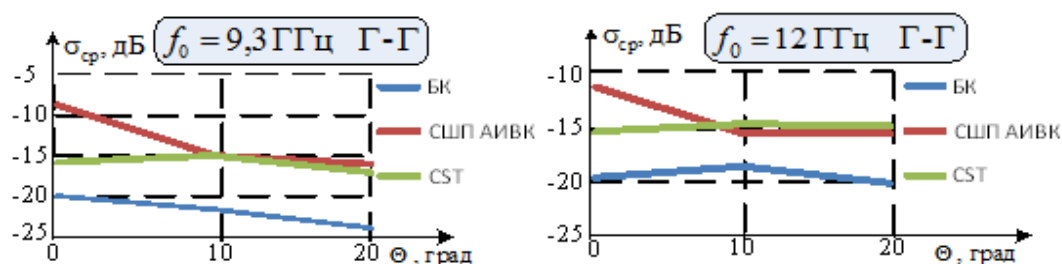


Рисунок 2 – Зависимости среднего значения ЭОП DJI Phantom 4 PRO от угла тангажа, полученные различными методами

Из-за соотношения линейных размеров объекта к длине волны ДОВИ имеют сильно изрезанный характер, поэтому для качественной оценки отражательных свойств малоразмерного БПЛА были выделены средние значения ЭОП по азимутальным секторам в 30° . Для примера, в докладе были представлены результаты полученные при $\theta = 0^\circ$. На рисунке 3 представлена зависимость среднего значения ЭОП в зависимости от азимутального сектора на частотах ЗС 9,3 и 12 ГГц.

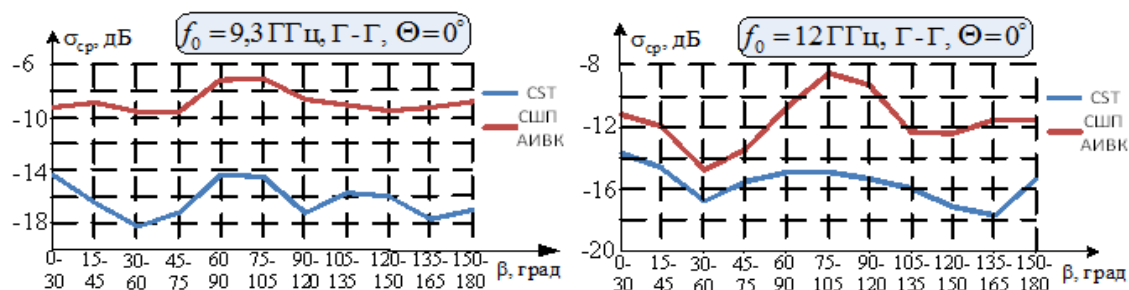


Рисунок 3 – Зависимость среднего значения ЭОП Phantom 4 PRO по секторам

Зависимости, представленные на рисунке 3, имеют общий характер изменения, но отличаются по амплитуде. Это объясняется тем, что использованная в CST модель не учитывала внутреннее строение БПЛА. Диэлектрическая и магнитная проницаемость была усреднена по количеству используемых материалов при изготовлении реальной модели малоразмерного БПЛА DJI Phantom 4 PRO, что в значительной мере повлияло на количественное значение ЭОП. Использование более детализированной модели позволит более точно измерять ЭОП, однако многократно возрастет время моделирования.

Вывод. Исследования проводились на базе УО «ВА РБ» и РНПУП «Центр радиотехники НАН Беларуси». Проведенный анализ показал, что задача измерения ЭОП требует высокоточных измерительных приборов и минимизации влияния внешних факторов. Измерение ЭОП DJI Phantom 4 PRO показали, что ДОВИ имеют изрезанный характер. Средние значения ЭОП малоразмерного БПЛА DJI Phantom 4 PRO находятся в пределах $\sigma_{ср} = -7 \dots -25$ дБ. Максимальные значения ЭОП наблюдается в секторе $75^\circ - 105^\circ$, при $\theta = 0^\circ$ и составляет $\sigma_{ср} = -7 \dots -9$ дБ. Это объясняется внутренним строением БПЛА. Основной вклад вносят металлизированные элементы, такие как: обмотка электродвигателей, платы, радиоэлектронная аппаратура (РЭА), батарея. Корпус выполнен из пластика, поэтому вносит минимальный вклад и минимально влияет на форму ДОВИ. Следует отметить, что для измерения ЭОП экспериментальными методами требуются: высокоточная аппаратура, минимизация внешних факторов. В случае математического моделирования необходимо использовать детализированную модель с учетом внутренней структуры объекта.

1. Новичков, Н.Н. Боевое применение беспилотных аппаратов в Нагорном Карабахе. 1-е изд./ Н.Н. Новичков, Д.И. Федюшко – М: ОАО «СТАТУС», 2021. – С. 5-45.

2. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. / А. Е. Охрименко. – М.: Воен. издат., 1983. – Ч. 1. – 456 с.