

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА ПО ПРИЗНАКАМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ЧАСТОТ**

А.А. Бомбизов, А.Г. Лоцилов, С.А. Артищев

Научный руководитель: д.т.н., директор НИИ СЭС ТУСУР, Н.Д. Малютин
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),

Специальное конструкторское бюро «Смена»,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: main@skbsmena.ru

**INVESTIGATION THE POSSIBILITY OF THE DRONE DETECTION
BY THE ANALYSIS OF LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION**

A.A. Bombizov, A.G. Loshchilov, S.A. Artishchev

Scientific Supervisor: Director of Research Institute of Electric Communication Systems TUSUR,
professor N.D. Malyutin

Tomsk state university of control systems and radioelectronics (TUSUR),

Special design bureau «Smena»

Russian Federation, Tomsk city, Lenin Avenue 40, 634050

E-mail: main@skbsmena.ru

***Abstract.** The possibility of detecting unmanned aerial vehicles by recording the magnetic component of the electromagnetic radiation of their operating engines is shown.*

Введение. Сложность решения задач обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) радиолокационными средствами, как отмечается в работе [1], связана с их низкой заметностью. Поэтому ищутся дополнительные признаки, по которым можно идентифицировать БПЛА в полете или неподвижно зависающим [2]. Например, в работе [1] показана теоретически возможность обнаружения БПЛА путем сравнения спектра модуляции отраженных сигналов в радиолокационных диапазонах вращающимися деталями со спектром акустических излучений. Но экспериментальных данных в подтверждение этого в работе [1] и других публикациях [3] не приводится.

Целью настоящих экспериментальных исследований являлась регистрация электромагнитного излучения (ЭМИ), возникающего в процессе работы беспилотного летательного аппарата. Анализ ЭМИ выполнялся в полосе частот от 50 Гц до 20 кГц. Для уменьшения влияния помех, вызванных промышленными или бытовыми объектами, было принято решение проводить эксперимент в поле за чертой города.

Описание экспериментальной установки. Работа экспериментальной установки основывается на регистрации магнитной составляющей электромагнитного излучения электродвигателями БПЛА в процессе полета и анализе параметров низкочастотных электромагнитных сигналов.

Магнитная составляющая электромагнитного излучения БПЛА регистрировалась с помощью индукционного датчика, выполненного в виде катушки индуктивности (1000–1200 витков) на стержневом ферромагнитном сердечнике [4]. Сигналы с датчика подавались на усилитель, выполненный

по инструментальной схеме, и содержащий два каскада усиления ДУ₁ и ДУ₂ на операционных усилителях AD8626. Первый каскад усиления, ДУ₁, с целью минимизации искажений выходного сигнала размещался внутри корпуса индукционного датчика. Дифференциальный сигнал с выхода первого каскада передавался по кабельной линии типа "витая пара" (длиной порядка 5 метров) на вход дифференциального усилителя ДУ₂. Коэффициенты усиления каскадов ДУ₁ и ДУ₂ равны 50 и 4, соответственно. Первый каскад усилителя обеспечивает усиление тока, наведенного на индукционный датчик, второй каскад ослабляет синфазную помеху, наведенную на кабельную линию. В полосе рабочих частот от 50 Гц до 20 кГц ослабление составляет порядка 40 дБ. Регистрация сигнала выполнялась звуковой картой персонального компьютера.

Описание содержания и результатов экспериментальных исследований. Первый эксперимент заключался в регистрации электромагнитного излучения от пролетающего квадрокоптера Yuneec Turphoon 4k. Летательный аппарат выходил на высоту 4–5 м и с дистанции 15 м начинал движение в сторону измерительной установки и пролетал над ней. В процессе эксперимента осуществлялась регистрация ЭМИ БПЛА в низкочастотной области спектра. На рис.1 приведена спектрограмма зарегистрированного сигнала.

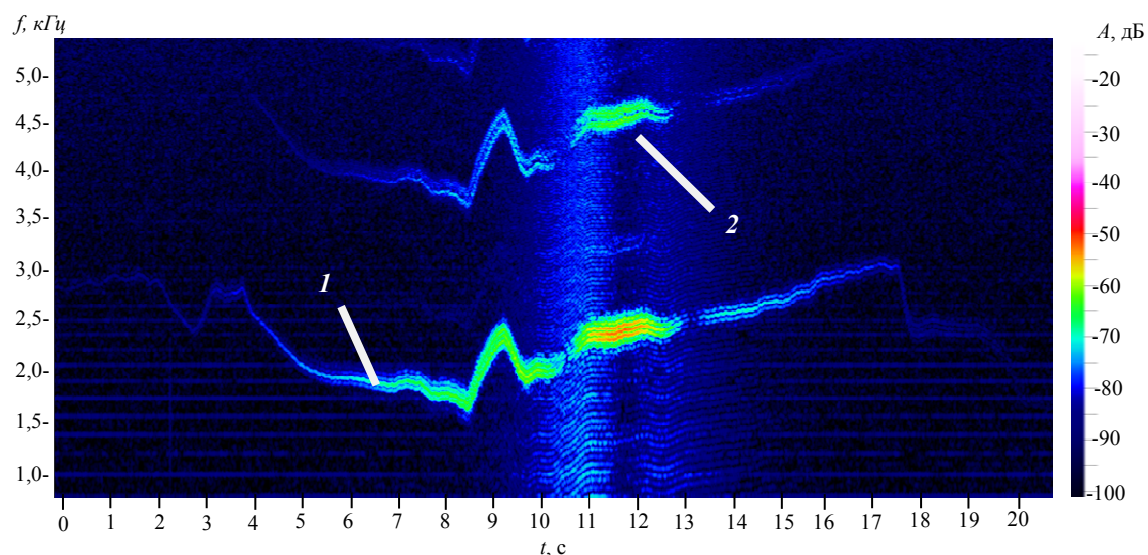


Рис. 1. Спектрограмма ЭМИ квадрокоптера Yuneec Turphoon 4k при маневрировании

Основная гармоника зарегистрированного сигнала (см. рис. 1, поз. 1) БПЛА лежит в диапазоне 2–3 кГц. Непостоянство частоты обусловлено регулировкой оборотов вращения двигателей для поддержания нужной высоты. При приближении к измерительной установке амплитуда ЭМИ возрастала. Особенностью является наличие высших гармоник ЭМИ (см. рис. 1, поз. 2), повторяющих исходный сигнал в диапазоне частот 4–5 кГц.

В ходе следующего эксперимента регистрировалось ЭМИ БПЛА в процессе посадки. Спектрограммы измеренных сигналов приведены на рис. 2.

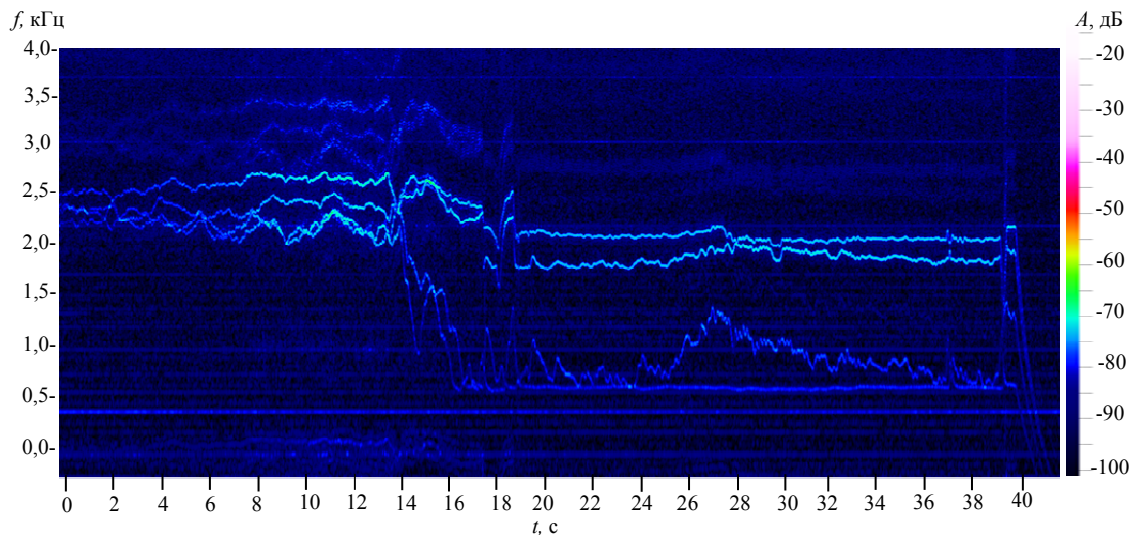


Рис. 2 – Спектрограмма ЭМИ квадрокоптера Yuneec Typhoon 4k при посадке

На спектрограмме (см. рис. 2) можно выделить следующие этапы: зависания БПЛА над поверхностью Земли (с 0 по 14 секунду); посадка (с 14 по 18 секунды); отключение двигателей на (39-я секунда). Нужно отметить, что для смягчения посадки перед касанием коптера поверхности Земли временно были увеличены обороты двигателей, что сопровождается повышением частоты ЭМИ с 18 по 19 секунды. Процесс отключения двигателей занимает 2 секунды.

Заключение. Результаты проведенных экспериментальных исследований иллюстрируют практическую возможность не только обнаружения беспилотных летательных аппаратов по признакам их электромагнитного излучения в области низких частот, но и определения режимов работы БПЛА, стадий барражирования, скоростей вращения винтов и, потенциально, других важных параметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.577.21.0188 от 27.10.2015 г., идентификатор RFMEFI57715X0188.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів / Ю.Г. Даник, І.В. Пулеко, М.В. Бугайов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: технічні науки. – 2014. – № 4 (71). – С. 71–80.
2. Micro-drone RCS analysis / Matthew Ritchie, Francesco Fioranelli, Hugh Griffiths, Borge Torvik // 2015 IEEE Radar Conference. – South Africa, Johannesburg, 2015. – Pp. 452–456. DOI: 10.1109/RadarConf.2015.7411926.
3. Radar micro-Doppler feature extraction using the spectrogram and the cepstrogram / R.I.A. Harmanny, J.J.M. de Wit; G. Prémel Cabic // 11th European Radar Conference. – Germany, Nuremberg, 2014. – Pp. 165–168. DOI: 10.1109/EuRAD.2014.6991233.
4. Максименко В.Г. Чувствительность низкочастотного магнитоиндукционного датчика // Радиотехника. – 2009. – №8. – С. 44 – 47