

# СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЕННЯ МАЛИХ БАГАТОРОТОРНИХ БПЛА

Гапонов Є.Ю.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Шейко С.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки  
(61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. МІРЕС, тел. (057) 702-15-87)  
e-mail: d\_res@nure.ua

The results of experiments on the detection of drones by acoustic signals are processed. The purpose of the study is to identify the characteristic features of the acoustic radiation spectra of UAVs in comparison with other sources of noise. The acoustic radiation of the DJI Phantom 2 quadcopter has been investigated. The spectra have pronounced harmonic components with frequencies multiple of the screw speed. In the case of large divergence of modes of quadcopter engines the spectral maxima are divided into several, which may be one of the characteristics for the classification of UAVs.

Повсюдне використання малих БПЛА крім позитивних сторін породило ряд проблем. Вони пов'язані з неадекватною поведінкою деяких власників БПЛА, несанкціонованим моніторингом об'єктів і територій державного значення, частішим вторгненням в особисте життя і т.ін. У ряді зазначених випадків актуальною стає задача виявлення БПЛА в повітрі. Це може бути здійснено засобами активної і пасивної радіолокації, теплової локації, системами відеоспостереження. Одним з напрямків у виявленні БПЛА є акустичні спостереження [1, 2]. Шум силової установки і повітряного гвинта є помітною демаскуючою ознакою.

У даній роботі оброблені результати експериментів по виявленню дронів по акустичних сигналах, проведених колективом кафедри МІРЕС ХНУРЕ [1]. Мета дослідження – виявити характерні ознаки спектрів акустичного випромінення БПЛА в порівнянні з іншими джерелами шуму.

Експериментальна установка складалася з вимірювального мікрофона Superlux ЕСМ-999, встановленого у фокусі параболічного відбивача діаметром 0,6 м. Мікрофон підключався по інтерфейсу XLR до зовнішньої звукової карти Behringer U-Phoria UM2. Частота дискретизації звуку 48 кГц, розрядність – 24 біта. Експерименти проводилися в умовах міста, у внутрішньому дворі ХНУРЕ. Відношення сигнал-шум в записах складало близько 20 дБ. Досліджено акустичні випромінення квадрокоптера DJI Phantom 2.

Акустичні вимірювання для квадрокоптера були проведені в режимах підйому над акустичною антеною, баражування на висоті 50 м і подальшої посадки. На рис.1 показаний амплітудний спектр акустичного сигналу квадрокоптера, отриманий шляхом БПФ за вибіркою 8192 відліків без накопичення. Спектр сигналу має багатокомпонентну гармонійну структуру, частоти складових є кратними числами. Аналіз великого числа реалізацій

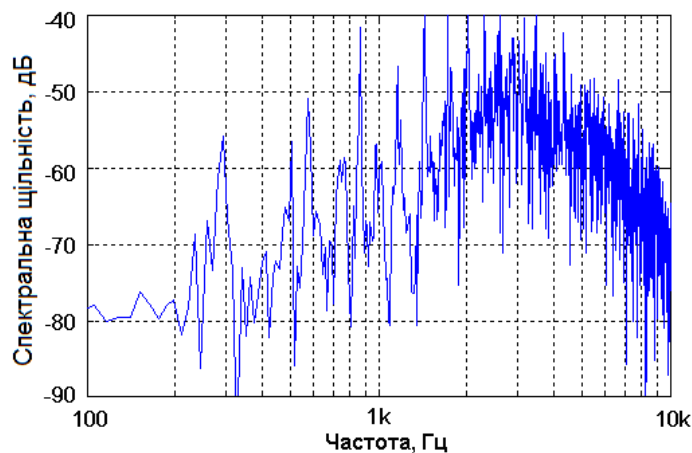


Рис. 1

показують, що впевнено виявляються, особливо при наявності часового накопичення, гармоніки з частотами до 10 кГц. Амплітуди і фази гармонік є випадковими навіть при відсутності руху квадрокоптера. Це пояснюється певною відмінністю режимів роботи двигунів в процесі компенсації автоматикою БПЛА вітрового

впливу. Даний фактор також призводить до певного розширення спектральних ліній.

Динаміка роботи системи компенсації вітрових збурень квадрокоптера добре помітна в частотно-часовій області. На рис. 2 показана спектрограма акустичного сигналу для реалізації тривалістю 15 с. У режимі активної компенсації вітру спектральні максимуми розділюються, їх кількість відповідає числу двигунів апарату. Останні 2 с на спектрограмі відповідають етапу посадки

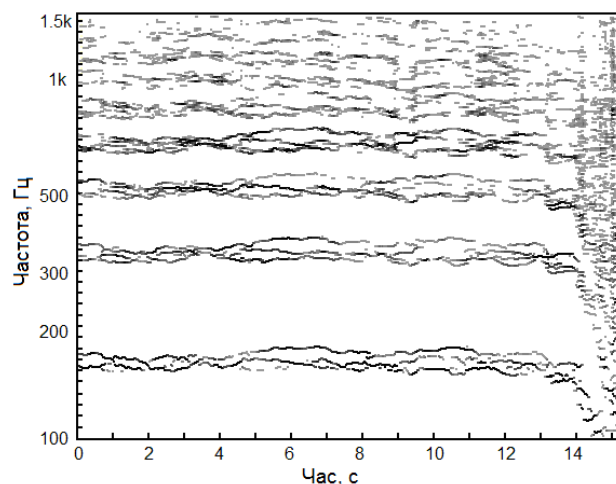


Рис. 2

квадрокоптера зі зменшенням частоти обертання двигунів.

Експериментальне дослідження акустичних сигналів квадрокоптера показало, що їх спектри мають яскраво виражені гармонійні складові з частотами, кратними частоті обертання гвинтів.

Спектральні складові акустичного сигналу квадрокоптера широкі, що пояснюється певною розбіжністю режимів роботи двигунів в процесі руху або при роботі системи компенсації вітрових збурень.

При великій розбіжності режимів двигунів квадрокоптера спектральні максимуми поділяються на декілька, що може бути одною з ознак для класифікації БПЛА.

#### **Перелік джерел:**

1. Zelnio A.M. Detection of small aircraft using an acoustic array. Thesis. B.S. / A.M. Zelnio. – Electrical Engineering, Wright State University. – 2007. – 55 p.
2. Олейников В.Н., Шейко С.А., Бабкин С.И. Исследование характеристик акустического излучения малых беспилотных летательных аппаратов // Сб. науч. тр. VI Междунар. радиоэлектрон. форума “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития (МРФ-2017)”.. – Харьков : Точка, 2017. – С.107–110.