

# ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ БПЛА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ПРИХОДУ

Берлан В.А.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Олейніков В.М.  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
61166, Харків, пр. Науки 14, кафедра МІРЕС, т. 70-21-587  
email: d\_res@nure.ua

The features of the use of wideband signals of acoustic radiation from UAVs to determine its location are considered. It is shown that correlation processing of signals makes it possible to apply efficient methods of location.

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в різних областях людської діяльності відкриває нові можливості і забезпечує значний економічний ефект. Доступність БПЛА створює ряд проблем, пов'язаних з несанкціонованим моніторингом об'єктів і територій. У ряді випадків актуальною стає завдання визначення місцеположення БПЛА методами пасивної акустичної локації. У відповідність з цим вдосконалення методів пеленгації БПЛА шляхом прийому і обробки їх акустичних сигналів є актуальним завданням.

Як впливає з результатів досліджень шумових характеристик БПЛА [1], сумарний спектр акустичного випромінювання БПЛА обумовлений гармонійними і широкосмуговими випадковими складовими. Акустичне випромінювання (АВ) БПЛА представляє собою широкосмуговий сигнал, амплітудний спектр якого подано на рис. 1. Для визначення напрямку приходу АВ широкосмугових сигналів широко використовується метод взаємної кореляційної функції (ВКФ). Вимірювання зсуву часу приходу широкосмугового акустичного сигналу  $\tau$  до окремих мікрофонів МР здійснюється шляхом обчислення положення максимумів ВКФ сигналів, які приймаються відповідними мікрофонами. Обчислення ВКФ сигналів БПЛА, отриманих з мікрофонів мікрофонної решітки (МР) виконується за формулою:

$$r_{ij}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_i(t) S_j(t + \tau) dt,$$

де  $S_i(t), S_j(t)$  — широкосмугові акустичні сигнали на вході  $i$ -го і  $j$ -го мікрофонів,  $T$  - час аналізу.

Згідно теоремі Вінера – Хінчина енергетичний спектр стаціонарного випадкового процесу та його ковариаційна функція пов'язані прямим і зворотнім перетворенням Фур'є, і чим ширше смуга частот, яку займає сигнал, тим вужче смуга головної пелюстки кореляційної функції.

З рис. 2 видно, що ВКФ головної пелюстки акустичних сигналів квадрокоптера DJI Phantom 3, отриманих з МР, має вигляд, близький до  $\delta$ -

функції. Це дозволяє при великих відношеннях сигнал/шум визначати величину зсуву часу приходу широкосмугового акустичного сигналу між мікрофонами МР з точністю до кроку дискретизації сигналу. При відомих відстані  $d$  між  $i$ -м і  $j$ -ми мікрофонами та затримки часу приходу  $\tau$ , можна визначити кутове положення джерела випромінювання:

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{\tau c_{зв}}{d} \right),$$

де  $c_{зв}$  — швидкість розповсюдження звуку

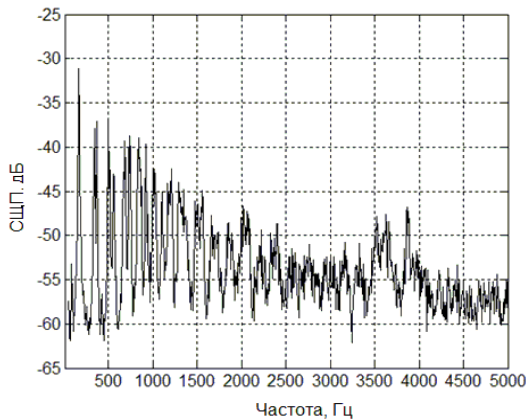


Рисунок 1 — Амплітудний спектр акустичного випромінювання квадрокоптера DJI Phantom 3

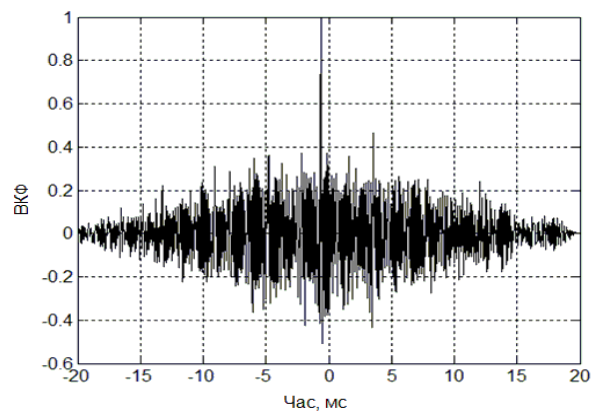


Рисунок 2 — ВКФ сигналів квадрокоптера DJI Phantom 3, отриманих з МР

Основна особливість акустичного випромінювання квадрокоптера — сигнал розподілений у широкій смузі частот. Це не дає можливості використовувати фазові методи вимірювання кутових координат. Використання широкосмугових сигналів у частотній області після кореляційної обробки дозволяє отримати короткі сигнали у часовій області (дельта-функції).

З теореми Вінера — Хінчина випливає, що чим ширше смуга частот, яку займає сигнал, тим вужче кореляційна функція. Використання широкосмугових сигналів дозволяє підвищити точність просторового розрізнення акустичної системи позиціонування.

Перелік джерел:

1. Kartashov V.M., Oleynikov V.N, Sheyko S.A., Babkin S.I., Koryttsev I.V., Zubkov O.V., Anokhin M.A. Information characteristics of sound radiation of small unmanned aerial vehicles. Telecommunications and Radio Engineering ( English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika), V.77(10), 2018, pp. 915-924.