

ОСОБЛИВОСТІ АКУСТИЧНОЇ СИГНАТУРИ БПЛА

Козловець С. О., Крайник К. І., Орлов Д. І.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Олейніков В. М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС,
м. Харків, Україна

email: serhii.kozlovets@nure.ua, kostiantyn.krainyk@nure.ua,
danylo.orlov@nure.ua

In this work the features of the acoustic signature of a UAV. An analysis of the power spectral density of acoustic radiation from a DJI Phantom 3T quadcopter was carried out. Cepstral analysis is considered as one of the ways to identify sound signatures of different types of UAVs.

Останнім часом безпілотні літальні апарати (БПЛА) або дрони стали важливою і невід'ємною частиною нашого суспільства. Вони з'являються в великому розмаїтті у безлічі застосувань для економічних, комерційних, розважальних, та військових цілей. За останнє десятиліття індустрія безпілотників набула стрімкого розвитку, це пов'язано з технологічними тенденціями і швидким прогресом в управлінні, мініатюризації і комп'ютеризації, які призвели до створення безпечних, легких, міцних, більш доступних і економічно ефективних БПЛА. Окрім очевидних позитивних можливостей використання БПЛА, таких як доступ до зон стихійних лих, доставка вантажів, БПЛА можуть становити серйозну загрозу, таку як несанкціоноване застосування БПЛА у районах розташування об'єктів критичної та військової інфраструктури. Тому важливим стало питання виявлення та розпізнавання БПЛА.

Виявлення БПЛА може бути здійснено засобами активної та пасивної радіолокації, теплової локації, системами відеоспостереження [1]. У випадку малих безпілотних літальних апаратів з невеликими габаритами та слабкими електродвигунами, які іноді не мають дистанційне керування по радіоканалу, використання вказаних методів стикається з рядом значних труднощів та обмежень.

В результаті дослідження спектральної щільності потужності (СЩП) акустичного випромінювання квадрокоптера DJI Phantom 3T (рис. 1), можемо спостерігати вузькосмугові тональні і широкосмугові шумоподібні компоненти з переважанням випромінювання від лопатей гвинта. Параметри акустичного випромінювання БПЛА складають звукову сигнатуру, тобто є його унікальним ідентифікатором.

Обертаючись, гвинт витісняє повітря, об'єм якого відповідає об'єму лопатей гвинта, і це призводить до коливання тиску повітря. Таким чином виникає шум витіснення.

Спектральний склад шуму гвинта включає гармонійні компоненти, які відповідають частоті обертання ротора та гармонікам частоти лопастей. Дискретні складові спектру акустичного випромінювання, пов'язані з шумом обертання та взаємодії, як правило, мають на 15–20 дБ вищі рівні, ніж ширококутовий шум обтікання лопати. Зі збільшенням відстані до БПЛА, внаслідок поглинання звуку атмосфері, високочастотні гармоніки істотно послаблюються до рівня фонового шуму [2].

Для забезпечення стабільного польоту, швидкість кожного двигуна може змінюватися, що супроводжується зміною спектра акустичного випромінювання, це можна побачити на спектрограмі, представленій на рис. 2.

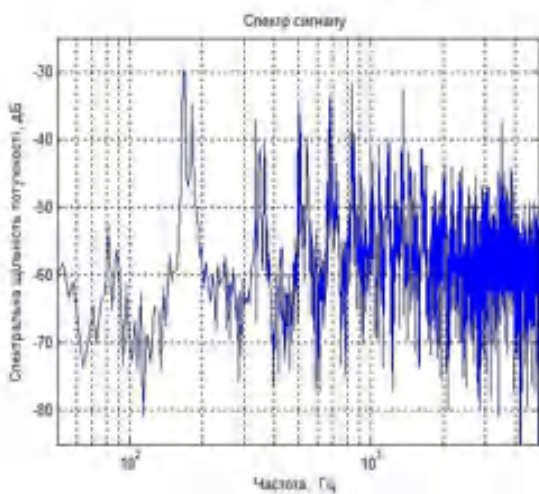


Рисунок 1 - Спектр АВ квадрокоптера DJI Phantom 3Т

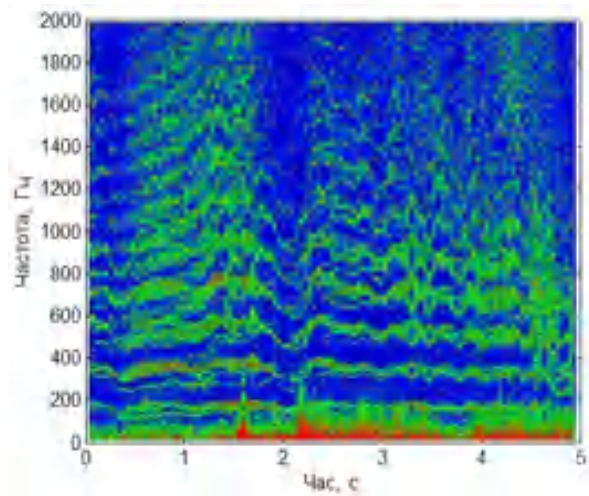


Рисунок 2 - Спектрограма складових АВ квадрокоптера DJI Phantom 3Т

Сигнал, який генерує гвинтомоторна група безпілотних літальних апаратів, відноситься до ширококутових сигналів, що унеможливорює використання фазових методів для вимірювання кутових координат. З теорії сигналів відомо, що ширина інтервалу кореляції $\Delta\tau$ обернено пропорційна ширині спектра сигналу Δf_c [3]:

$$\Delta\tau = \frac{1}{\Delta f_c}.$$

Завдяки застосуванню кореляційної обробки ширококутових сигналів АВ БПЛА можна отримати вузьку основну пелюстки у взаємній кореляційній функції (рис. 3). Це дозволяє забезпечити високу точність просторового роздільної здатності акустичної системи для визначення місцезнаходження БПЛА.

Кепстальний аналіз проходить в декілька етапів. Спочатку записується звуковий сигнал, який БПЛА створює під час своєї роботи. Потім він перетворюється в спектр за допомогою перетворення Фур'є. Це дає змогу побачити, які частоти присутні в сигналі та з якою амплітудою. Отриманий спектр сигналу логарифмуємо та проводимо обернене перетво-

рення Фур'є, і отримуємо кепстр сигналу (рис. 4).

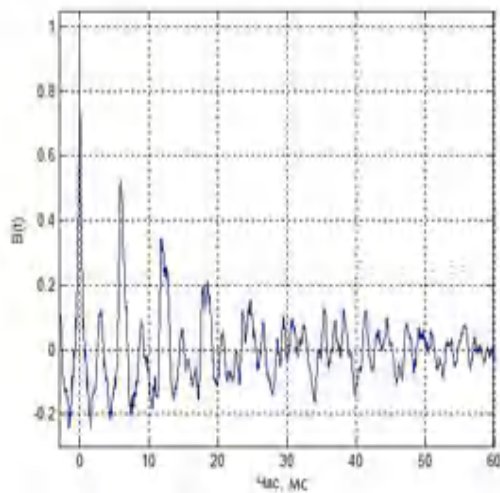


Рисунок 3 - Взаємна кореляційна функція акустичних сигналів БПЛА

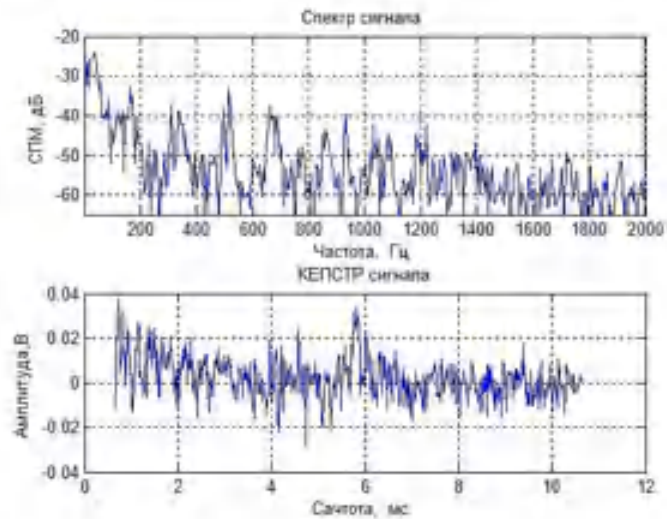


Рисунок 4 - Спектр (а) та кепстр (б) АВ квадрокоптера DJI Phantom 3

Для ідентифікації звукових сигнатур різних типів БПЛА, застосовується кепстральний аналіз отриманого акустичного сигналу.

Енергія акустичного сигналу БПЛА, розсіяна по безлічі гармонік у його спектральному поданні, при кепстральному поданні сигналу локалізується в одній складовій. Таким чином, кепстральний аналіз акустичного сигналу БПЛА є ефективним і дає змогу отримати акустичну сигнатуру у компактному вигляді, що може бути корисним для моніторингу та діагностики в різних сценаріях, включно з виявленням та ідентифікацією БПЛА.

Список використаних джерел:

1. Карташов В.М., Олейніков В.М., Шейко С.О., Бабкін С.І., Коритцев І.В., Зубков О.В. Використання акустичної сигнатури для виявлення, розпізнавання та пеленгації малих безпілотних літальних апаратів. Радіотехніка: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2018. – Вип. 195. – С. 235 – 243.

2. Олейніков В.М., Зубков О.В., Карташов В.М., Коритцев І.В., Бабкін С.І., Шейко С.О. Дослідження ефективності виявлення та розпізнавання малорозмірних безпілотних літальних апаратів за їх акустичним випромінюванням. Радіотехніка: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2018. - №195. - С. 209-217.

3. Олейніков В.М., Карташов В.М., Шейко С.О., Зубков О.В., Олейнікова О.І. Визначення місця положення малорозмірних безпілотних літальних апаратів за акустичним випромінюванням. Радіотехніка: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2022. № 210, С. 113-127.