

ВИЯВЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ОЗНАК АКУСТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ БПЛА

Серьожин І.І.

Науковий керівник – доцент Зубков О.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем,
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: ivans.serozhin@nure.ua

Abstract. Записаны акустические излучения беспилотных летательных аппаратов в студии звукозаписи и вне помещения. Выявлены характерные спектральные признаки акустического излучения БПЛА. Разработана математическая модель акустического излучения БПЛА. Проведено исследование эффективности методов спектрального анализа для оценки положения спектральных максимумов акустического излучения БПЛА.

Вступ. Існує багато об'єктів, над територією яких політ безпілотних літальних апаратів (БПЛА) заборонений. Це аеропорти, військові бази, приватні території і т.і. Тому своєчасне виявлення БПЛА у зоні таких об'єктів дуже важлива задача, яка вирішується з використанням різних технічних засобів: радіолокаторів, відеокамер, детекторів акустичного випромінювання. Постійне вдосконалення методів обробки сигналів цих засобів та впровадження нових алгоритмів обробки є актуальною науковою задачею.

Основна частина. Для дослідження ефективності виявлення БПЛА було вирішено проаналізувати акустичне випромінювання (АВ) БПЛА, щоб визначити його характерні ознаки, за якими його можна відрізнити від природних та індустріальних шумів [1]. Для аналізу були використані звукові записи випромінювань двох моделей квадрокоптерів: DJI Phantom 3 та Syma X5SW. Звукозапис акустичних сигналів БПЛА проводився з використанням вимірювального конденсаторного мікрофона Superlux ЕСМ-999 з круговою діаграмою спрямованості. Вихід мікрофона підключався по симетричному аудіо інтерфейсу XLR до входу зовнішньої звукової карти Behringer U-Phoria UM2. Звуковий сигнал оцифровувався з частотою дискретизації $F_s = 48$ кГц і розрядністю 24 біта.

Звукозапис АВ БПЛА, а також природних та індустріальних шумов здійснювалися в студії звукозапису ХНУРЕ та на відкритій місцевості в межах міста чи пригорода. На рисунку 1 наведено характерну спектральну щільність потужності АВ у студії для DJI Phantom 3.

Така СЩП містить частоту основного тона та не менше 10-40 гармонік цієї частоти. Аналіз СЩП проаналізованих БПЛА, здатних нести корисне навантаження, наприклад у вигляді професійної відеокамери, показав, що частота основного тону АВ БПЛА знаходиться в межах від 90

до 240 Гц. Кількість гармонік основного тону АВ БПЛА - від 10 до 40, але зі збільшенням відстані до БПЛА, через поглинання звуку в атмосфері, високочастотні гармоніки істотно послаблюються до рівня фонових шумів і не можуть бути оброблені. Тому для обробки використовується від 2-х до 8-ми гармонік основного тону АВ БПЛА.

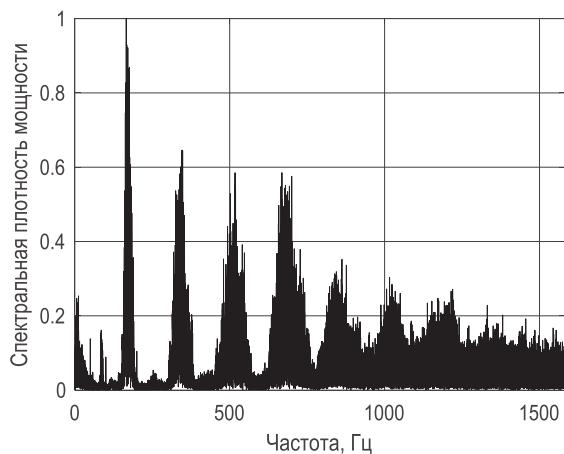


Рисунок 1

За характерними ознаками СЦП була створена її математична модель з шумовою складовою [2]. Згенеровані реалізації СЦП оброблялися з використанням: бистре перетворення Фур'є, періодограмний метод у сукупності з використанням спектральних вікон Ханна, Хеммінга, Кайзера, коваріаційним методом, модифікованим коваріаційним, music. Моделювання виконано у середовищі Matlab.

Висновки. При використанні коваріаційного, модифікованого коваріаційного методів та метода music для аналізу положення 6-8 спектральних максимумів АВ БПЛА необхідно обчислювати не менш ніж 350 коефіцієнтів, що потребує часу 1с при кількості відліків 32768. Із зменшенням відношення сигнал/шум до 12-0 дБ оцінки положення максимумів СЦП значно зміщуються (5- 50%) відносно істинного положення цих максимумів. Тому ці методи непридатні для аналізу АВ БПЛА.

Періодограмні методи спектрального аналізу дають незміщені спектральні оцінки положення максимумів та дозволяють обробляти АВ БПЛА у реальному часі.

Найбільш ефективним є метод [3] обчислення СЦП не по реалізації сигналу, а по першій, другій, третій і т.д. автокореляційним функціям реалізації сигналу. Він дозволяє отримувати оцінки положення спектральних максимумів при низьких відношеннях сигнал/шум, тобто розширити дальність виявлення БПЛА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andrea Bernardini, Federica Mangiatordi, Emiliano Pallotti, Licia Capodiferro; Fondazione Ugo Bordoni. Drone detection by acoustic signature identification. – Electronic Imaging, Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World. – 2017. – pp. 60-64
2. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB С.-П.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
3. Останин С. А. Увеличение отношения сигнал-шум методом последовательного вычисления автокорреляционной функции. Журнал радиоэлектроники. – 2011. – №12. – С. 20-29.