

ДОДАТОК А  
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

## Постановка задачі

*Об'єкт дослідження* – процеси приймання та обробки сигналів акустичного випромінювання для виявлення і розпізнавання малорозмірних безпілотних літальних апаратів.

*Мета дослідження* – дослідити метод розпізнавання акустичних сигналів на основі мел-кепстральних коефіцієнтів.

*Методи дослідження* – акустичний портрет мел-кепстрального методу виявлення безпілотних літальних апаратів, ідентифікація кепстрів за коефіцієнтом кореляції.

## Періодограми акустичних сигналів

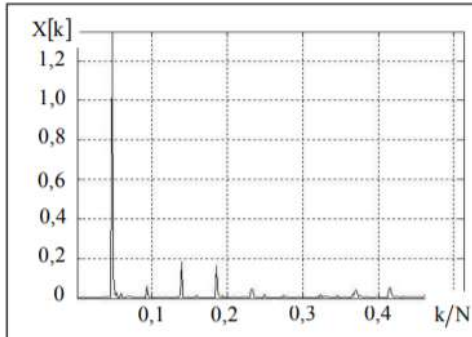


Рисунок А.1 – Періодограма БПЛА з ЕД і повітряним гвинтом

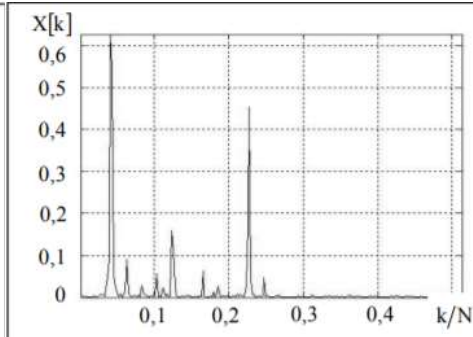


Рисунок А.2 – Періодограма БПЛА з ДВЗ

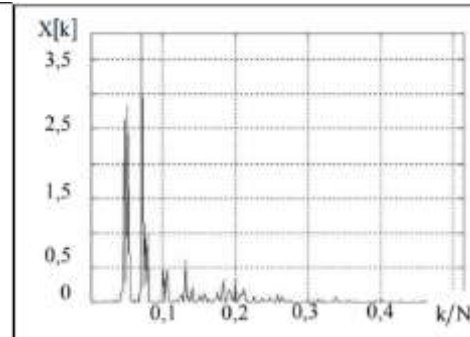


Рисунок А.3 – Періодограма БПЛА мультироторного типу з чотирма гвинтами

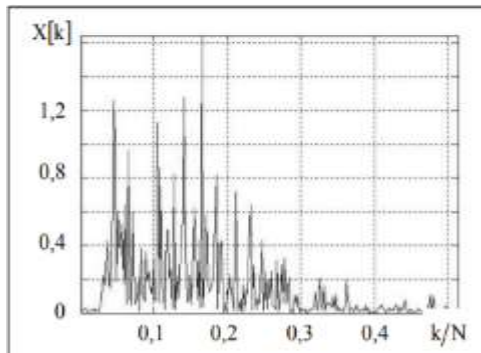


Рисунок А.4 – Періодограма БПЛА мультироторного типу з шістьма гвинтами

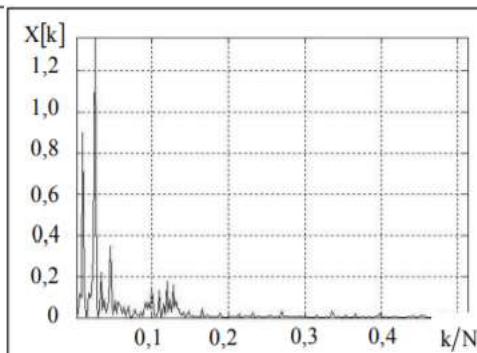


Рисунок А.5 – Періодограма вертольота

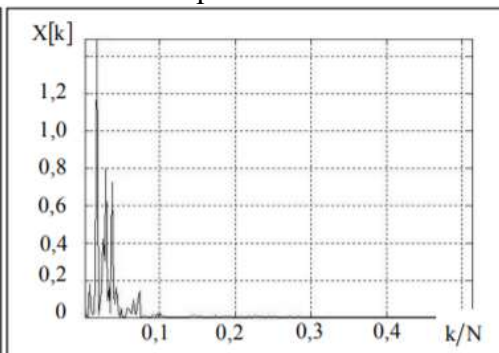


Рисунок А.6 – Періодограма гвинтомоторного літака

Типовий спектр акустичного випромінювання роботи силової установки БПЛА

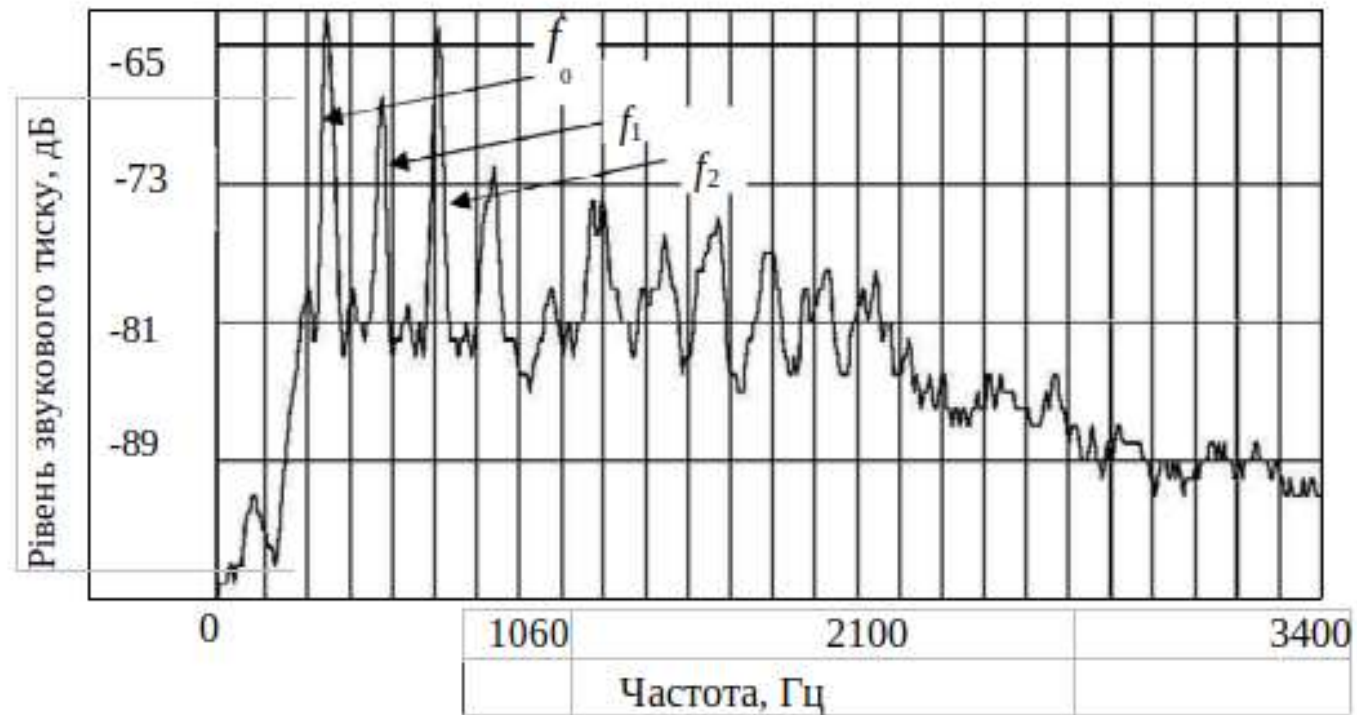


Рисунок А.7 – Частотна залежність від рівня звукового тиску

Банки мел фільтрів

### Mel Filter Bank

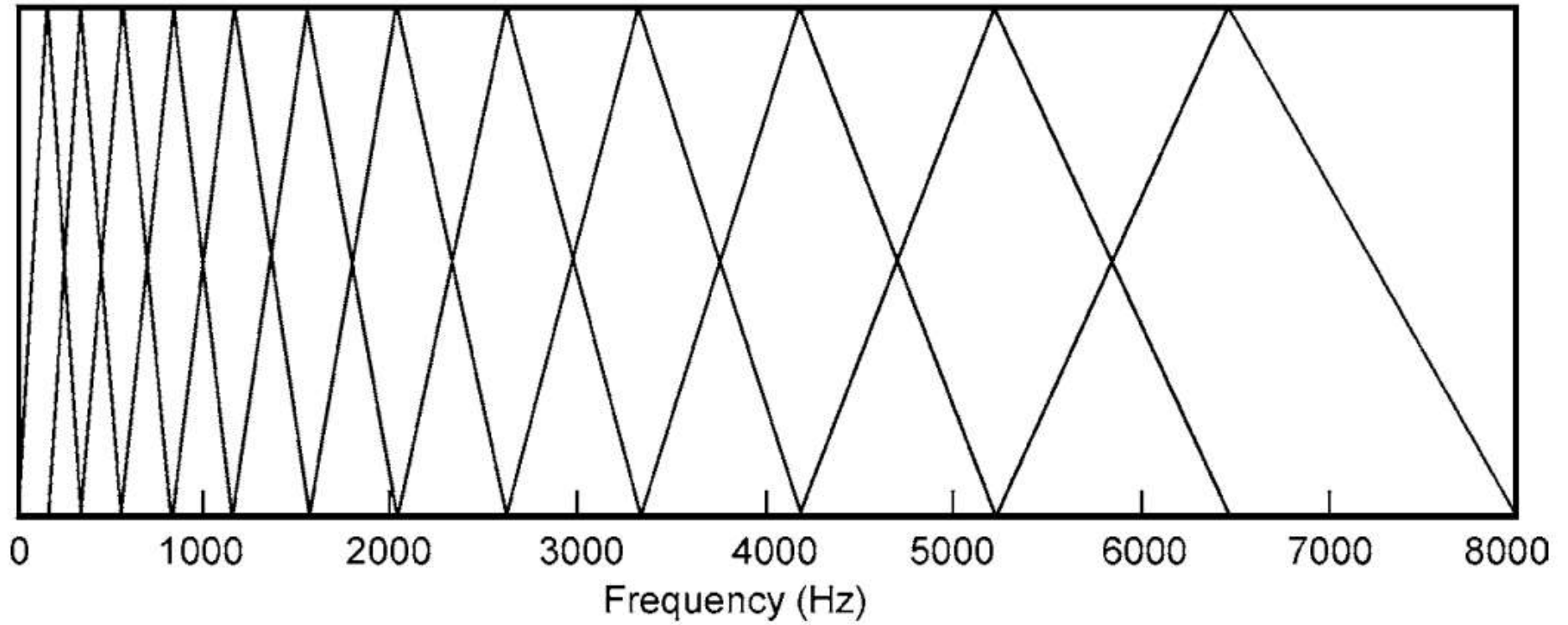


Рисунок А.8 – Частотна характеристика мел фільтру

## Спектри сигналу

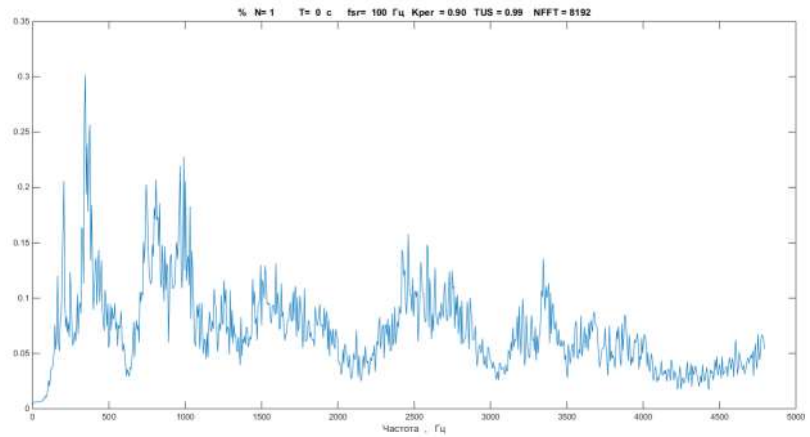


Рисунок А.9 – Спектр шуму навколишнього середовища

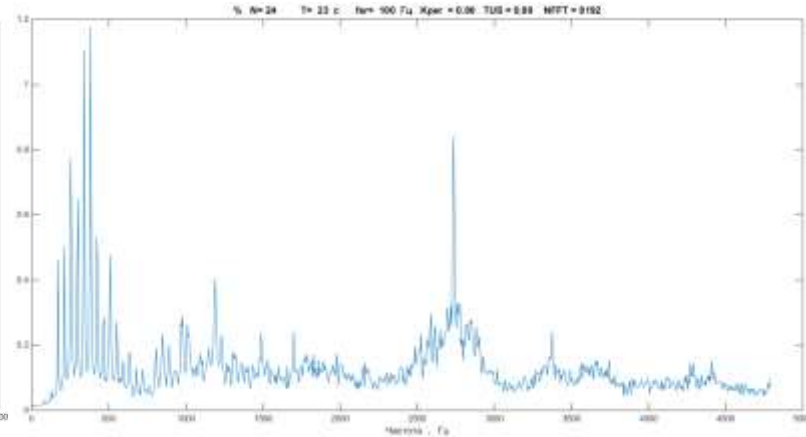


Рисунок А.10 – Спектр шуму зльоту БПЛА

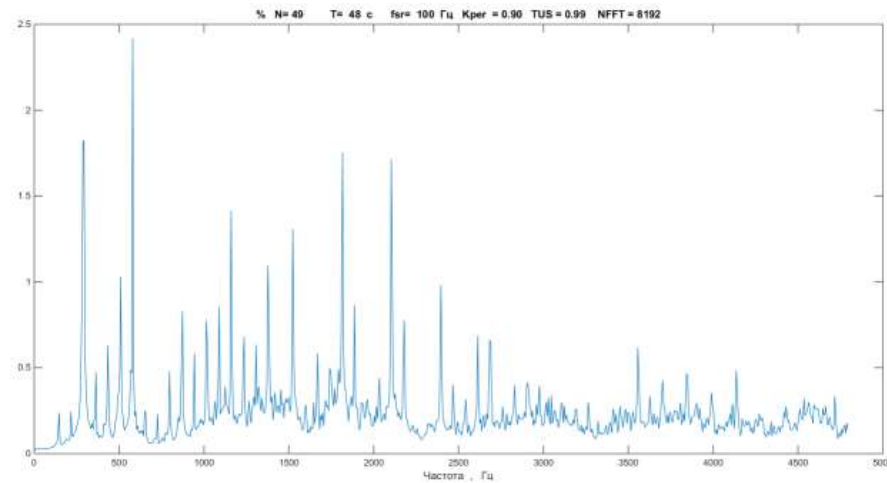


Рисунок А.11 – Спектр шуму БПЛА на відстані 100 метрів

## Мел спектр тестового сигналу

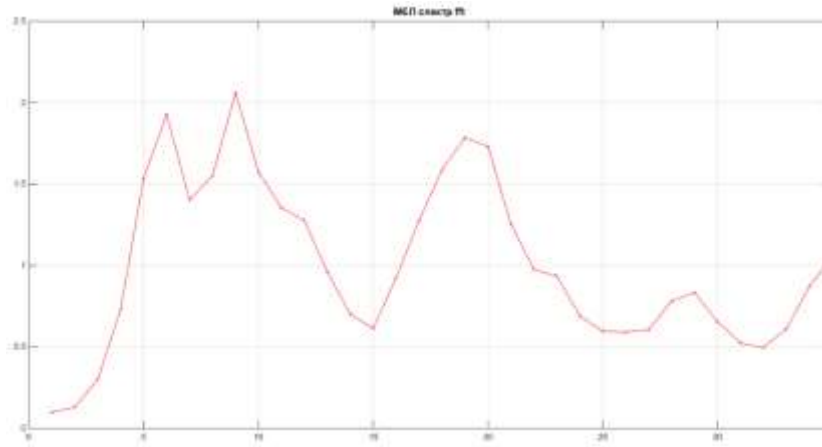


Рисунок А.12 – Мел спектр шуму навколишнього середовища

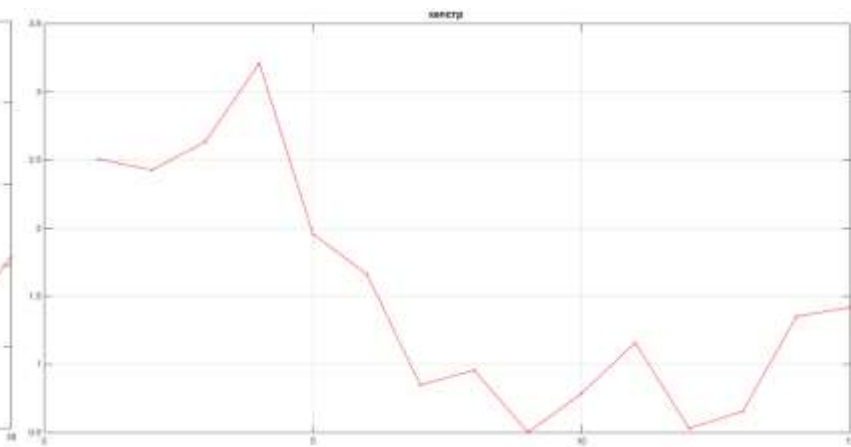


Рисунок А.13 – Мел спектр шуму зльоту БПЛА

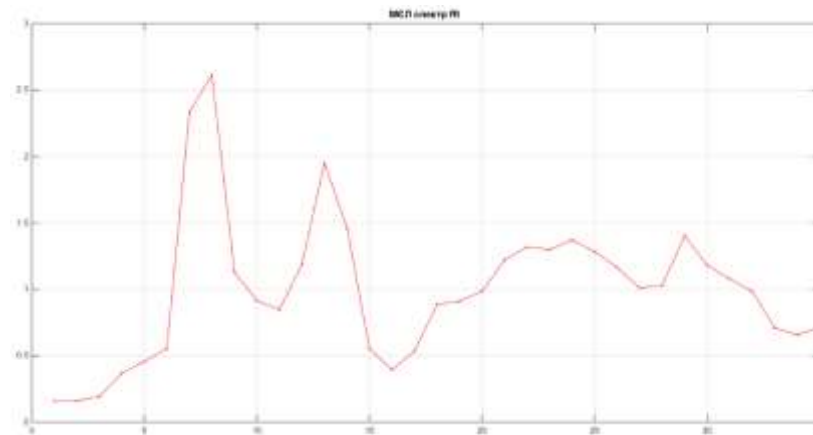


Рисунок А.14 – Мел спектр шуму БПЛА на відстані 100 метрів

## Кепстральне представлення тестового сигналу

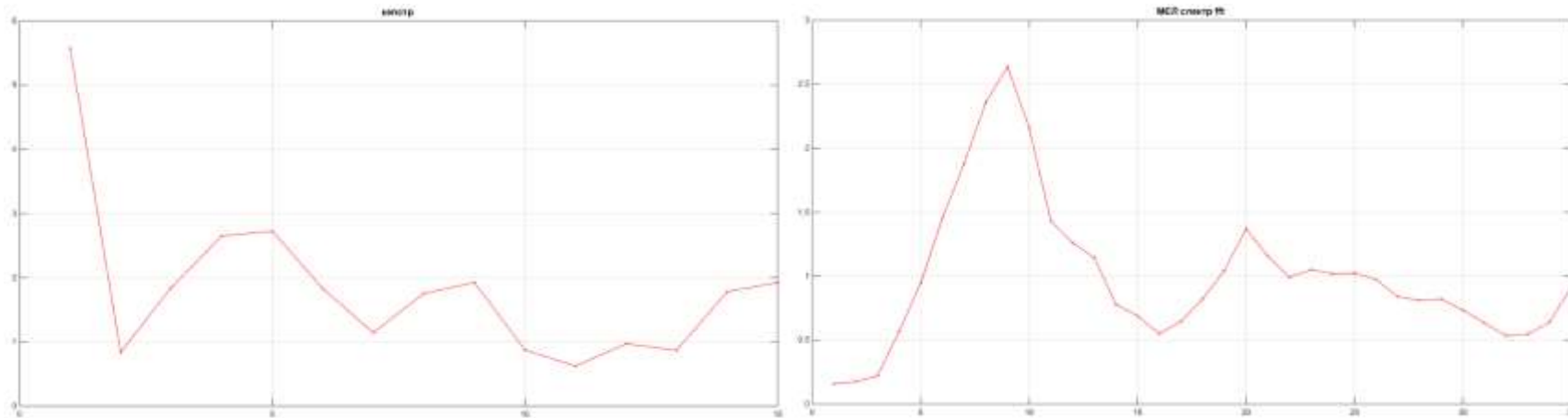


Рисунок А.15 – Кепстральне представлення шуму навколишнього середовища

Рисунок А.16 – Кепстральне представлення шуму зльоту БПЛА

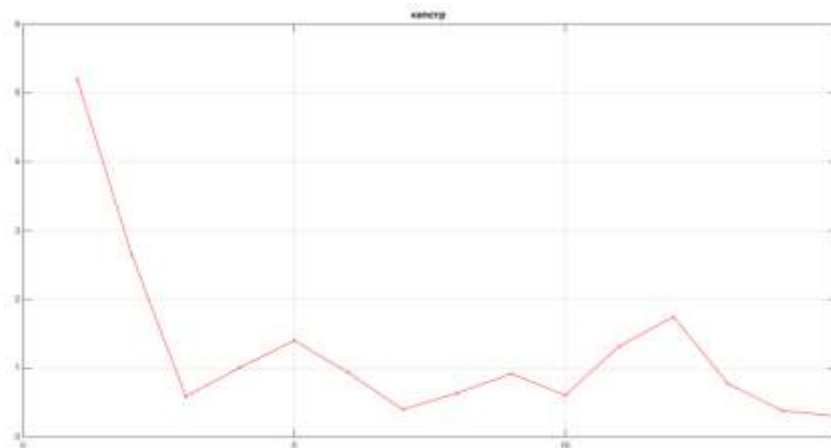


Рисунок А.17 – Кепстральне представлення шуму БПЛА на відстані 100 метрів

Зміна коефіцієнта подібності для векторів ознак тестового сигналу та еталонного вектору ознак АВ БПЛА

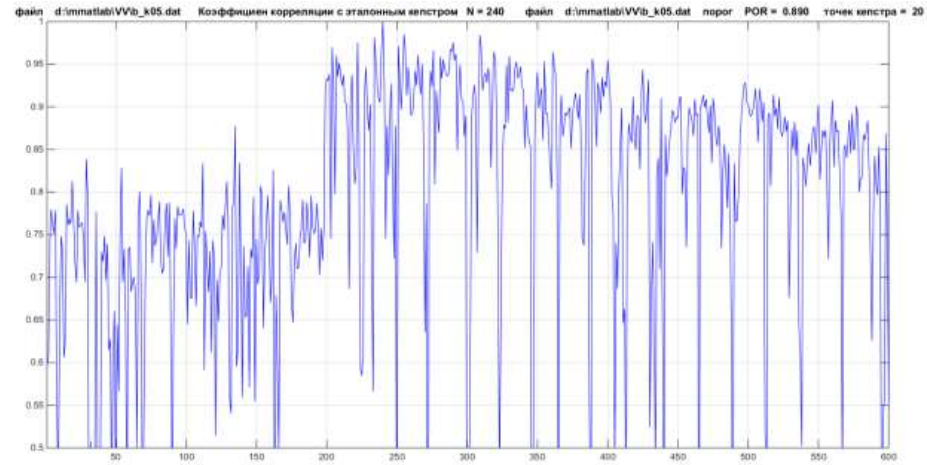


Рисунок А.18 – Коефіцієнт подібності (8)

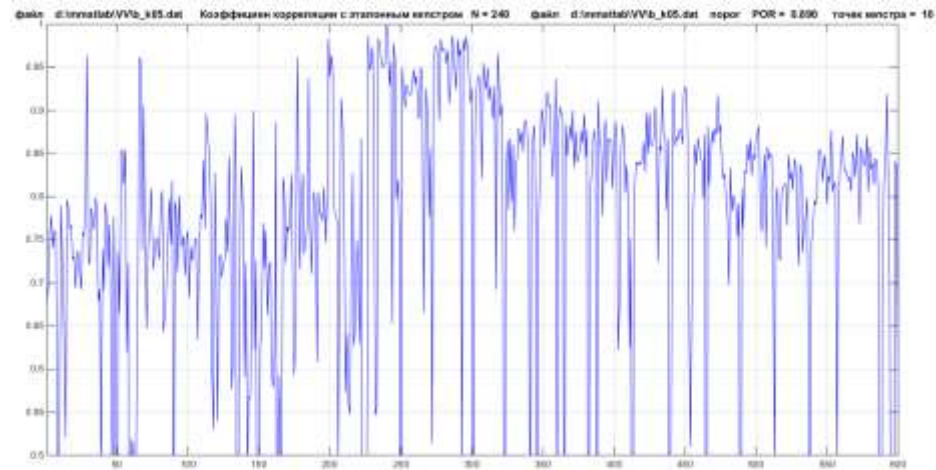


Рисунок А.19 – Коефіцієнт подібності (22)

Залежності ймовірності правильного виявлення та розпізнавання від відстані до квадрокоптера

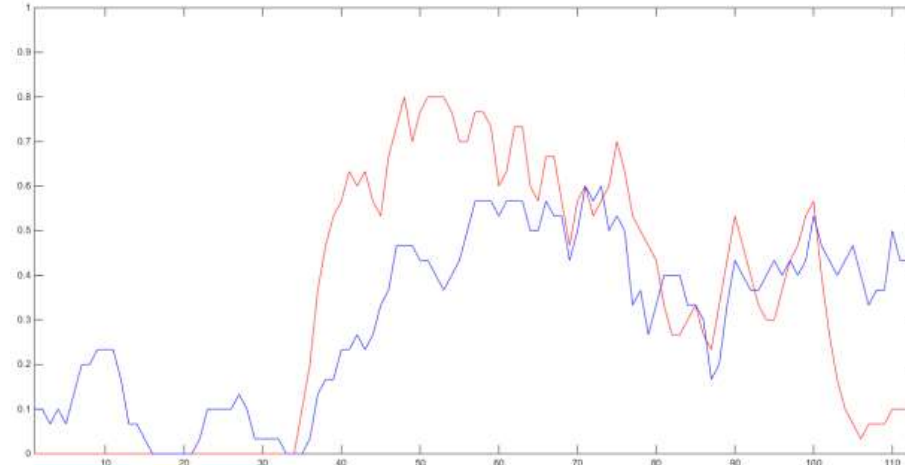


Рисунок А.20 – Поріг прийняття рішення (0,89)

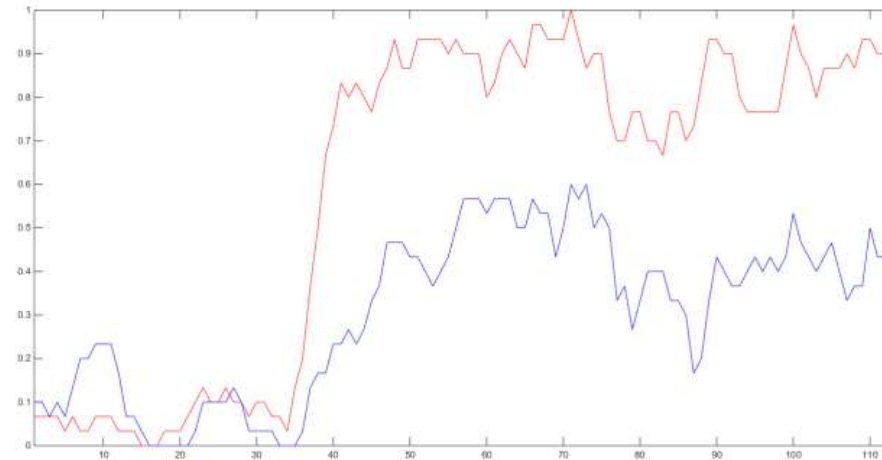


Рисунок А.21 – Поріг прийняття рішення (0,8)

## Алгоритм прийняття рішення про розпізнавання АВ БПЛА

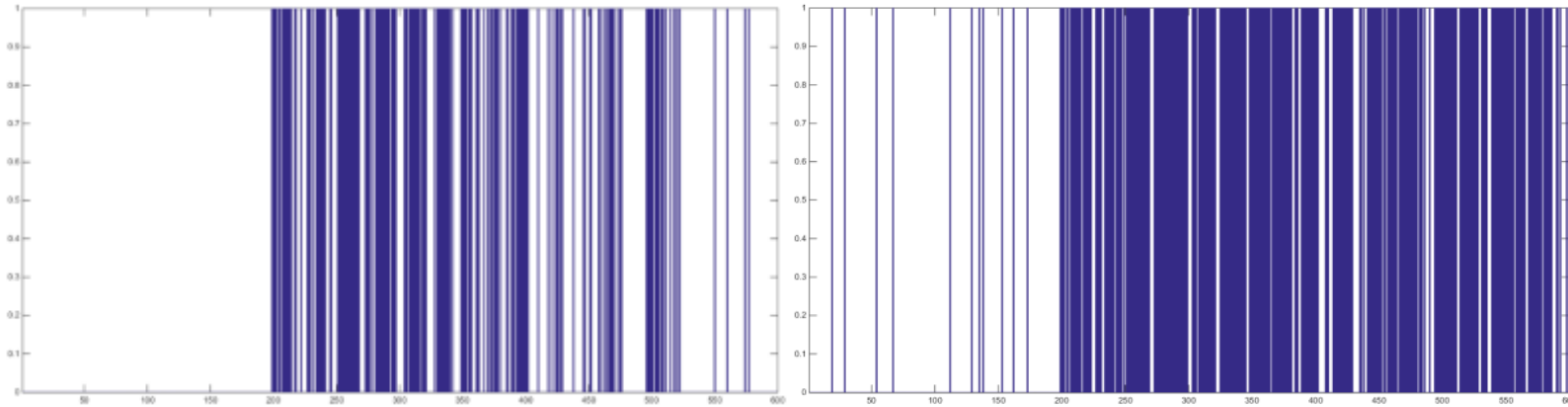


Рисунок А.22 – Результат роботи програми алгоритму прийняття рішень  
(поріг прийняття рішення: 0,89)  
(число коефіцієнтів: 8)

Рисунок А.23 – Результат роботи програми алгоритму прийняття рішень  
(поріг прийняття рішення: 0,8)  
(число коефіцієнтів: 8)

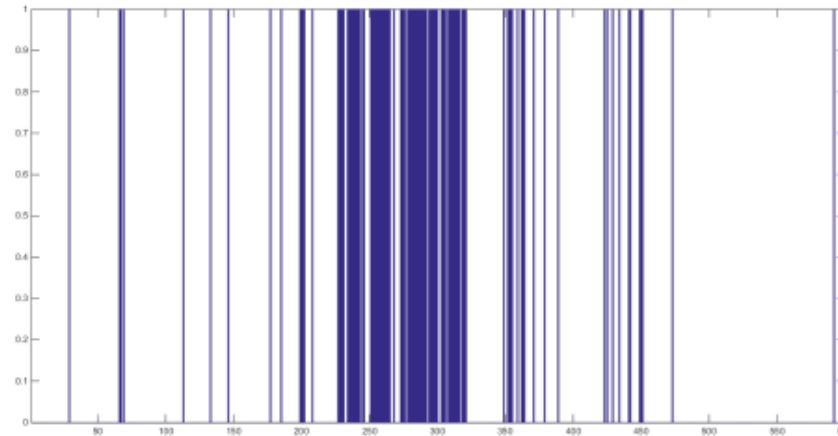


Рисунок А.24 – Результат роботи програми алгоритму прийняття рішень  
(поріг прийняття рішення: 0,89)  
(число коефіцієнтів: 22)

## Висновки

Аналіз акустичних сигналів БПЛА літакового та мультироторного типу показали, що їх спектри мають гармонічну структуру з частотами, кратними частоті обертання ротора або колінвала двигуна. Більш чітко гармонічні складові спектру простежуються для БПЛА літакового типу. Для мультироторного ж типу спектральні лінії є більш широкими через неоднаковість частот обертання гвинтів. В подальшому доцільно провести порівняння даних, отриманих експериментальним шляхом та модельних залежностей, та визначити акустичні портрети конкретних безпілотних літальних апаратів з метою їх виявлення.

У цій роботі було запропоновано засновану на отриманні розподілів мел-кепстральних коефіцієнтів методику отримання вектора ознак, що характеризують індивідуальні параметри голосу. Було реалізовано модуль голосової аутентифікації на основі вивченого методу отримання вектора ознак та методу опорних векторів.

Отримані результати досліджень дозволяють говорити про можливість використання розглянутих алгоритмів виявлення та розпізнавання акустичних сигналів БПЛА для оперативного контролю повітряного простору.



