

## **ВПЛИВ ФАКТОРІВ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ НА ПОМИЛКИ У ВИЗНАЧЕННІ КООРДИНАТ БПЛА ПАСИВНИМ СОДАРОМ**

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

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

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС

м. Харків, Україна

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

serhii.kozlovets@nure.ua

This work focuses on the analysis of factors influencing the accuracy of determining the coordinates of UAVs using passive acoustic methods. Model experiments were conducted for UAVs moving along a spiral trajectory, considering variables such as microphone array height and sound reflection coefficient. Statistical estimates of measurement errors were obtained, and two series of experiments were conducted to assess the impact of changing these variables. Results were approximated using cubic polynomials and linear regression, providing insights into the effectiveness of different models in analyzing the obtained data.

Сучасні технології дозволили створити безпілотні літальні апарати (БПЛА), які зараз можуть використовуватися як ефективні розвідувальні та бойові одиниці. Через це постала проблема їх виявлення. Для цього можуть бути застосовані різні методи локації, зокрема активний і пасивний.

Активний метод локації ґрунтується на аналізі відбитку випроміненого сигналу, тоді як пасивний – на прийомі сигналу, що випромінюється об'єктом самостійно. Серед можливих джерел випромінювання БПЛА є: оптичне, інфрачервоне, радіо та акустичне.

Акустичний метод є достатньо ефективним та поширеним для виявлення та визначення координат БПЛА. Суть цього методу полягає в отриманні акустичного випромінювання (результат роботи при обертанні наявних у БПЛА гвинтів) за допомогою акустичної антенної решітки (ААР) і подальшої обробки сигналу для обчислення координат [1].

Умови оточуючого середовища, а також структура приземного шару атмосфери, яка характеризується температурним градієнтом та градієнтом швидкості вітру впливають на рефракцію акустичних хвиль, проявляють себе у вигляді поглинання, розсіювання, інтерференції, тощо.

Об'єкти місцевості: елементи ландшафту, споруди, дерева, рослинність – суттєво впливають на поглинання, відбивання і розсіювання звуку.

Спектральний склад і рівень шуму від різних джерел, таких як: транспорт, промисловість або природні явища – впливають на помилки у

вимірюванні часу затримки приходу акустичних хвиль, що негативно впливає на точність у вимірюванні координат пасивним содаром [2].

Для дослідження впливу дестабілізуючих факторів на визначення місцезнаходження БПЛА за акустичним випромінюванням в середовищі MATLAB створена імітаційна модель процесу обробки сигналів, в якій задаються координати мікрофонів мікрофонної решітки пасивного содару і траєкторія руху БПЛА. Параметри мікрофонних решіток пасивного содару в модельному експерименті: дві азимутальні бази ( $d1=2$  м,  $d2=2$  м) і кутomisна ( $d3=1$  м). У процесі моделювання безперервно для кожної дискрети часу розраховуються затримки акустичного сигналу, що з'являються під час прийому сигналу у кожному мікрофоні. Також задається необхідне відношення сигнал/шум сигналів, що обробляються, проводиться облік відбиттів від земної поверхні відповідно до заданого коефіцієнта відбивання. З цих даних формується математична модель сигналів на вході содара. Зіставляючи траєкторні параметри руху БПЛА, задані в імітаційній моделі та результати розрахунку координат БПЛА, отримані шляхом обробки сформованих акустичних сигналів, отримані значення абсолютних величин похибки. На рис.1 показані проєкції заданої траєкторії руху БПЛА і отриманою у результаті моделювання. Синя лінія – задана траєкторія руху БПЛА, червона – отримана у результаті моделювання траєкторія руху БПЛА.

Проведено ряд модельних експериментів по дослідженню пасивної локації БПЛА, що рухається по спіральній траєкторії, які включали в себе зміну величин таких параметрів як висота мікрофонної решітки над поверхнею землі та коефіцієнт відбивання від землі.

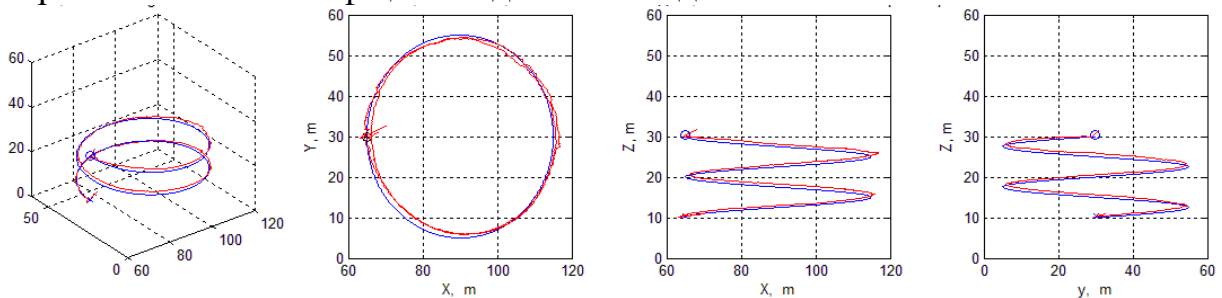


Рисунок 1

У першій серії висота мікрофонів ААР залишалась постійною – на рівні 1,25 метра, а коефіцієнт відбивання змінювався від 0 до 0,9. У другій серії коефіцієнт відбивання залишався постійним (0), а висота мікрофонів мікрофонної решітки змінювалась від 0 до 1,5 метра.

Для кожної точки траєкторії була визначена помилка оцінки місцезнаходження БПЛА, що дорівнює відстані між заданою координатою траєкторії та виміряною в результаті модельного експерименту. Далі знайдено математичне очікування та середньоквадратичне відхилення помилок вимірювання координат БПЛА в залежності від умов проведення

експерименту. На рис. 2 показано залежність математичного очікування (а) та середньоквадратичного відхилення (б) помилок вимірювання при зміні коефіцієнту відбивання від поверхні землі. Також на рис. 2 показано залежність математичного очікування (в) та середньоквадратичного відхилення (г) помилок вимірювання в залежності від висоти мікрофонної решітки над поверхнею землі. Сині точки – результати модельного експерименту, червона лінія – апроксимація. Для апроксимації результатів експериментів використовувалися дві моделі: у першій серії використовувався кубічний поліном, у другій – лінійна регресія.

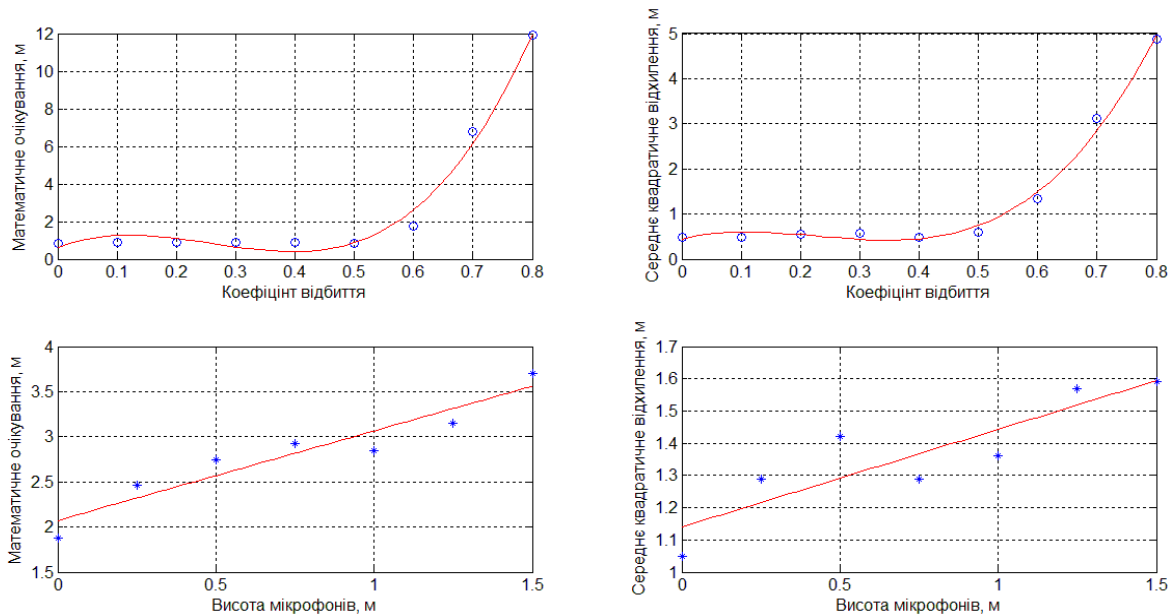


Рисунок 2

Проведені експерименти показали значний вплив поверхні землі на точність вимірювання координат БПЛА акустичним методом.

Для зменшення похибок вимірювання координат БПЛА необхідно знижувати вплив відбиття від землі, бажано мати поверхні, що підстилають, з великим коефіцієнтом поглинання. Збільшення висоти ААР щодо поверхні землі посилює похибку у вимірі координат, тому положення ААР має бути якомога нижчим.

Наведені рекомендації можуть використовуватись при проведенні акустичних вимірювань та обчисленні координат БПЛА.

Список використаних джерел: 1. В. М. Олейніков, В. М. Карташов, С. О. Шейко, О. В. Зубков, О. І. Олейнікова. Визначення місця положення малорозмірних безпілотних літальних апаратів за акустичним випромінюванням. Радіотехніка: Всеукр. межвед. науч.–техн. сб. 2022. № 210, С. 113–127. 2. Timothy F. Duda. Relative influences of various environmental factors on 50–1000 hz sound propagation in shelf and slope areas. Impact of Littoral Environmental Variability on Acoustic Predictions and Sonar Performance. 2002. С. 393–400.