

*Бугайов М. В., к.т.н., ст. досл., ЗННДВ НДУ
Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова*

ДВОКАНАЛЬНИЙ МЕТОД АМПЛІТУДНОГО ПЕЛЕНГУВАННЯ З КОМПЕНСАЦІЄЮ РІВНЯ ШУМУ

У зв'язку з розвитком систем радіомоніторингу (РМ) із використанням безпілотних літальних апаратів (БпЛА) виникла необхідність у розробленні простих і дешевих засобів пеленгування джерел радіовипромінювання (ДРВ). Для розміщеного на борту малорозмірного БпЛА засобу РМ метод пеленгування повинен бути стійким до впливу багатопроменевого поширення, простим у реалізації та мати високу швидкість пошуку ДРВ за напрямком. Даним вимогам задовольняє амплітудний метод пеленгування, перевагою якого є не такі жорсткі вимоги до синхронізації та фазової ідентичності каналів порівняно з більш точними фазовим та кореляційним методами.

Серед існуючих методів амплітудного пеленгування при реалізації антенної системи для розміщення на БпЛА доцільно використати сумарно-різницевий метод. Широке поширення даного методу зумовлене такими його перевагами як низька обчислювальна складність та висока швидкість розрахунку напрямку на ДРВ [1-2]. Сумарно-різницевий метод пеленгування при відносно високих значеннях (більше 20 дБ) відношення сигнал-шум (ВСШ) забезпечує практично незміщені оцінки напрямку на ДРВ. Проте при пеленгуванні слабких сигналів оцінки напрямку на ДРВ будуть зміщеними, особливо при значних відхиленнях від рівносигнального напрямку [3]. Для уникнення зміщення необхідно повертати антенну систему для приймання радіосигналу за рівносигнальним напрямком, що потребує додаткових часових затрат на пеленгування ДРВ, а також постійної зміни орієнтації антенної системи або БпЛА під час польоту. У роботі запропоновано двоканальний метод амплітудного пеленгування з компенсацією рівня шуму, що дозволяє суттєво зменшити зміщення оцінки азимуту при низьких значеннях ВСШ і не повертати при цьому антенну систему.

Оцінку напрямку на ДРВ у двох сусідніх каналах антенної системи для невідомого рівня шуму можна записати у такому вигляді:

$$\hat{\theta} = \frac{\Delta\theta^2 N_{ant}}{4\pi \ln 2} \ln \sqrt{\frac{P_2(\theta) - \hat{\sigma}_{\xi 2}^2}{P_1(\theta) - \hat{\sigma}_{\xi 1}^2}} + \frac{\pi}{N_{ant}}, \quad (1)$$

де $\Delta\theta$ – ширина діаграми спрямованості логоперіодичної антени;

N_{ant} – кількість антен;

$P_1(\theta)$, $P_2(\theta)$ – потужності прийнятих сигналів у двох каналах;

$\hat{\sigma}_{\xi 1}^2$, $\hat{\sigma}_{\xi 2}^2$ – оцінки дисперсії шуму в каналах.

Із виразу (1) видно, що на точність оцінки азимуту впливають помилки оцінок потужності сигнальної суміші в каналах, дисперсії шуму та помилки апроксимації ДС антени, зокрема випадковим відхиленням форми ДС антен від розрахункової, що впливає на значення її ширини $\Delta\theta$, і безпосередньо використовується для оцінювання азимуту. Такі відхилення можуть виникати через деформацію антени та проліт БпЛА біля металевих об'єктів.

Для оцінювання пеленгу на ДРВ за допомогою виразу (1) сигнал повинен бути виявлений у двох сусідніх каналах. Якщо сигнал перевищить поріг лише в одному каналі, то тоді можна вважати, що напрямок на ДРВ знаходиться в межах ширини ДС антени.

Компенсація дисперсії шуму забезпечує суттєве зменшення (практично повну компенсацію) зміщення оцінки азимуту та незначне зростання її середньоквадратичного відхилення (СКВ). Останнє зумовлено тим, що дисперсія різниці двох випадкових величин (в нашому випадку оцінок потужності сигнальної суміші та шуму) дорівнює сумі їх дисперсій. Неповна компенсація рівня шуму, що пов'язана з помилками його оцінювання через обмежений об'єм вибірки, призводить до зростання значень як зміщення оцінки азимуту так і її СКВ. Для рівносигнального напрямку якість компенсації рівня шуму несуттєво впливає як на СКВ оцінки кута так і на її зміщення. Проте при збільшенні відхилення від рівносигнального напрямку вплив якості компенсації рівня шуму на помилки оцінювання напрямку на ДРВ зростає.

Список використаних джерел:

1. Shi Y., Zhou Y. Direction Finding Rectenna Array Based on Amplitude Comparison Method // *International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium*, Hangzhou, China, 2023, pp. 1-3, doi: 10.23919/ACES-China60289.2023.10249816.
2. Orduyilmaz A. et al. Passive direction finding using amplitude and phase comparison techniques // *22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Trabzon, Turkey, 2014, pp. 935-938, doi: 10.1109/SIU.2014.6830384.
3. Yan E. et al. Improving Accuracy of an Amplitude Comparison-Based Direction-Finding System by Neural Network Optimization // *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 169688-169700, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3024031.