

*Горшенін О.Є., к.т.н., доцент  
Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ БПЛА ЗА ПОЛЕМ РАДІОВИПРОМІНЮВАНЬ ВІД НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ: ДОСЯГНЕННЯ ТА НЕДОЛКИ**

В поточних умовах радіонавігація БПЛА традиційними методами за сигналами глобальних супутникових навігаційних систем стає вкрай ненадійною з-за впливу радіоелектронних завад за методами «спуфінгу» [1]. Сучасний напрямок розвитку радіонавігації БПЛА базується на загальній концепції «сигналів можливості» (Signals of Opportunity, SoOP), коли існуючі комунікаційні або радіотрансляційні системи в той чи інший спосіб використовуються як орієнтири для навігації [2]. Такій підхід дозволяє покращити завадостійкість навігаційного обладнання за рахунок нетрадиційного використання джерел радіовипромінювань у тому числі радіовипромінювань космічних апаратів [3].

Метою доповіді є обґрунтування основних засад реалізації та опис реальних можливостей стійкого до «спуфінгу» методу визначення поточного просторового положення БПЛА на основі SoOP за кутами надходження сигналів (Angle of Arrival, AoA). За початковою гіпотезою саме такий метод з урахуванням величезної кількості низькоорбітальних телекомунікаційних КА (на кшталт Starlink, OneWeb, Iridium тощо) мав забезпечити величезну стійкість до спуфінгових завад, бо є нечутливим до синхронізації та хибних затримок сигналів.

Сучасна концепція SoOP розглядає такі методи радіонавігації, коли існуючі комунікаційні або радіотрансляційні системи в той чи інший спосіб використовуються як орієнтири для навігації. Більшість робіт розглядає використання методів SoOP на основі частотно-часового аналізу сигналів джерел наземних та супутникових радіовипромінювань у різних діапазонах. В науковій літературі розглядалися системи, які використовують інтерферометричні пеленги від наземних базових станцій GSM та методом триангуляції визначають поточне положення БПЛА.

Методи оцінювання за SoOP, що засновані на аналізі часу приходу сигналів від джерел з точно відомими координатами: TOA (time of arrival), TDOA (time difference of arrival), дають найвищу точність позиціонування. Але роботі систем SoOP навігації, які використовують

методи часових та доплеровських вимірювань (TOA/TDOA), значно перешкоджають системи радіоелектронної протидії (РЕП), які використовують метод так званого «спуфінгу». В умовах таких перешкод для навігації за SoOP може виявитися доцільним використання способу оцінювання місцеположення за АОА. Цей спосіб вимірювання має нижчі точності, але не потребує точної синхронізації шкали часу, а так, не піддається «спуфінгу».

У випадку використання за опорні джерела сигналів радіоканалів «борт-земля» КА низькоорбітальних (LEO) систем різного призначення виникає значна проблема – ідентифікація сигналів щодо конкретного КА щоб пов'язати напрямок приходу сигналу з координатами цього КА. Останнім часом задача ідентифікації постійно ускладнюється стрімким зростанням кількості КА в угрупованні, що працюють на тих самих діапазонах частот з складним і часто непрозорим алгоритмом періодичного перепризначення несучих частот конкретному КА. Для подолання проблеми ідентифікації пропонується використати множини сигналів від КА як прогнозованого (детермінованого) поля потужності випромінювань в певному діапазоні з використанням його як у методах навігації за фізичними полями: навігація за рельєфом поверхні під повітряним об'єктом навігації (Terrain Contour Matchin, TERCOM) або за зображенням поверхні під об'єктом (Digital Scene Matching Area Correlator, DSMAC).

Проведені дослідження та розрахунки показали, що реалізація такого підходу сучасними засобами можлива, але досягнути задовільної для практичних потреб не вдається саме з-за геометричних умов проведення вимірювань.

#### **Список використаних джерел:**

1. *Sprivil, J., Hemminghaus, C., von Rechenberg, M., Padilla, E., & Bauer, J.* (2023). Detecting Maritime GPS Spoofing Attacks Based on NMEA Sentence Integrity Monitoring. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 928C. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse11050928>
2. *Wilfred E. Noel.* Signals of Opportunity Navigation Using Wi-Fi Signal. Thesis. USAF Department of the air force. Air university. Air force institute of technology. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 2011. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA540162.pdf>.
3. *Yixuan Zhu.* Opportunistic Positioning with Starlink. / *Zhu Yixuan* // [Electronic resource]. – Access mode : [https://www.researchgate.net/publication/387955381\\_Opportunistic\\_Positioning\\_with\\_Starlink](https://www.researchgate.net/publication/387955381_Opportunistic_Positioning_with_Starlink), DOI:10.13140/RG.2.2.35301.10724