

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційних систем та технологій



3-я Міжнародна науково-практична конференція

«ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ:
РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ»
(IST 2026)



10 березня 2026 р.

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА РАДІОТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Віталій Андрійчук, Юлій Бойко, Леся Карпова

***Анотація.** Розглянуто систему радіотехнічного моніторингу для виявлення малорозмірних БПЛА на дальностях до 2,5 км. Обґрунтовано структурну побудову та параметри антенної підсистеми з електронним скануванням. Використано фазокодований сигнал із кодом Баркера для підвищення завадостійкості та покращення співвідношення сигнал/шум. На основі радіолокаційного рівняння оцінено залежність дальності виявлення від ефективної площі розсіювання цілі. Результати моделювання підтверджують енергетичну достатність і практичну реалізованість запропонованої системи.*

Ключові слова: радіотехнічний моніторинг, антена, радіолокаційне рівняння, дальність виявлення, система, БПЛА.

I. ВСТУП

Сучасний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлює необхідність створення ефективних систем контролю повітряного простору на малих та середніх дальностях. Активне використання БПЛА у цивільній, комерційній та військовій сферах підвищує ризики несанкціонованого проникнення у зони обмеженого доступу, що потребує впровадження технічних засобів своєчасного виявлення та локалізації таких об'єктів. Особливо актуальними є системи, здатні функціонувати в умовах складної радіоелектронної обстановки, міської забудови та наявності інтенсивних завад [1, 2].

Особливої актуальності набувають системи радіотехнічного моніторингу, які дозволяють здійснювати виявлення, аналіз та ідентифікацію радіооб'єктів як у пасивному, так і в активному режимах функціонування. Пасивний режим забезпечує контроль каналів керування та телеметрії, тоді як активний режим дозволяє визначати дальність і просторові координати об'єкта за рахунок зондування простору. Поєднання цих режимів розширює функціональні можливості системи та підвищує достовірність прийняття рішення [3].

Перевагою систем радіотехнічного моніторингу є можливість інтеграції просторової селекції сигналів, спектрального аналізу та цифрової кореляційної обробки. Використання фазованих антенних решіток [2] із електронним скануванням дозволяє формувати керовану діаграму спрямованості, зменшувати рівень бічних пелюсток і підвищувати завадостійкість [4]. Застосування фазокодованих сигналів та алгоритмів кореляційної обробки забезпечує енергетичний вигравш і покращення співвідношення сигнал/шум при виявленні малорозмірних цілей з малою ефективною площею розсіювання.

Метою роботи є проектування системи радіотехнічного моніторингу [5] для виявлення БПЛА на дальностях до 2,5 км, обґрунтування основних технічних параметрів антенної та приймально-передавальної підсистем, а також аналіз ефективності запропонованої структури на основі математичного моделювання та енергетичних розрахунків.

II. ДАНІ ТА МЕТОДИ

Для досягнення поставленої мети виконано структурно-функціональний аналіз системи радіотехнічного моніторингу, проведено енергетичні розрахунки на основі радіолокаційного рівняння, а також застосовано методи математичного моделювання та цифрової обробки сигналів. Особливу увагу приділено формуванню антенної підсистеми, оцінюванню чутливості приймального тракту та аналізу ефективності кореляційної обробки фазокодованих сигналів.

Структурна побудова системи радіотехнічного моніторингу визначається її функціональним призначенням: прийманням, селекцією, перетворенням, цифровою обробкою та відображенням радіосигналів у заданому частотному діапазоні. Узагальнена структурна схема запропонованої системи наведена на рисунку 1.



Рисунок 1. Структурна схема системи радіотехнічного моніторингу

Структурна організація системи радіотехнічного моніторингу реалізується через послідовність функціональних етапів, що включають приймання сигналів, їх попередню селекцію та підсилення, подальше перетворення частоти або SDR-оцифрування, аналого-цифрове перетворення, цифрову обробку, а також відображення та збереження отриманої інформації. Антенна підсистема здійснює приймання електромагнітних хвиль у заданому діапазоні частот. У ВЧ тракті виконуються фільтрація позасмугових сигналів та попереднє підсилення малощумовим підсилювачем, що забезпечує необхідну чутливість системи. Далі сигнал надходить до блоку перетворення частоти або SDR-модуля, де формується сигнал, придатний для подальшого оцифрування.

Після аналого-цифрового перетворення сигнал обробляється у цифровому блоці, де виконуються спектральний аналіз, детекція, оцінювання співвідношення сигнал/шум та класифікація джерел випромінювання. Блок керування та синхронізації забезпечує узгоджену роботу функціональних модулів та формує необхідні режими сканування.

В активному режимі дальність до об'єкта визначається часовим методом, який ґрунтується на вимірюванні інтервалу часу між моментом випромінювання зондувального сигналу та прийманням його відбиття від цілі. Розрахунок дальності здійснюється відповідно до формули 1.

$$R = \frac{ct}{2}, \quad (1)$$

де c – швидкість поширення електромагнітної хвилі,

τ – затримка відбитого сигналу.

У пасивному режимі рішення про наявність джерела випромінювання приймається за критерієм перевищення рівня сигналу над шумом (SNR).

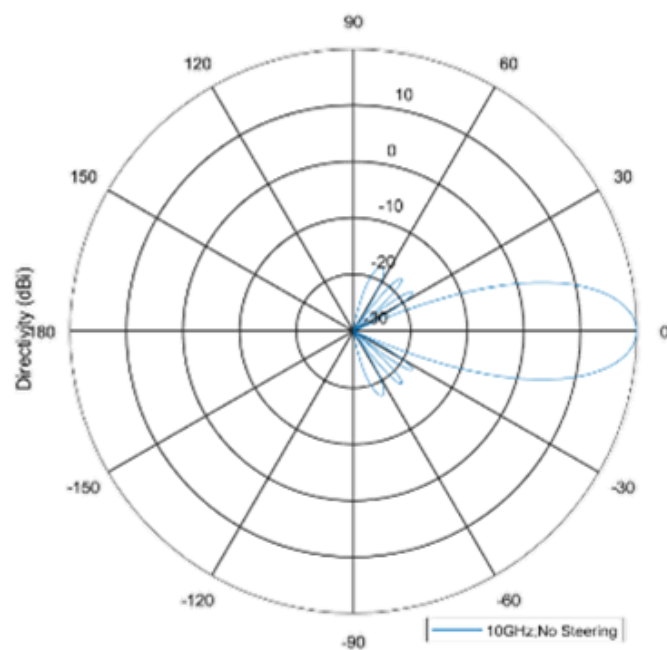
Для підвищення завадостійкості та збереження роздільної здатності використано фазокодований радіоімпульс із кодом Баркера довжиною $N = 13$, що забезпечує низький рівень бокових пелюсток автокореляційної функції та енергетичний вигравш після кореляційної обробки. Просторова селекція сигналів реалізується за допомогою антенної решітки з електронним скануванням та амплітудним зважуванням (вікно Хемінга), що забезпечує зменшення рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ

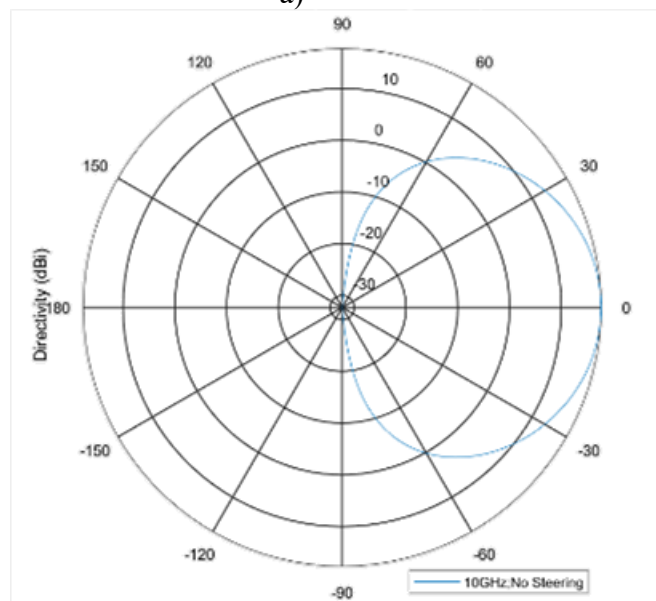
Антенна підсистема системи радіотехнічного моніторингу призначена для приймання сигналів у заданому діапазоні частот, просторової селекції радіовипромінювань та визначення напрямку на джерело сигналу. Основною вимогою є формування вузької діаграми спрямованості в Н-площині для забезпечення високої кутової роздільної здатності та розширеної діаграми в Е-площині для покриття зони контролю за висотою.

У результаті моделювання антенної системи отримано коефіцієнт підсилення 17,7 дБ, що відповідає вимогам до дальності виявлення та просторової селекції цілей. Амплітудний розподіл збудження елементів уздовж апертури сформовано за законом віконної функції Хемінга, що дозволило знизити рівень бічних пелюсток та підвищити завадостійкість системи.

На рисунку 2, а наведено діаграму спрямованості в Н-площині.



а)



б)

Рисунок 2. Діаграми спрямованості антени в Н- та Е-площинах

Ширина головної пелюстки за рівнем -3 dB становить 12° , що забезпечує необхідну кутову роздільну здатність під час визначення напрямку на об'єкт. На рисунку 2, б представлено діаграму спрямованості в Е-площині. Її ширина становить близько 60° , що забезпечує покриття зони контролю за висотою та підвищує ймовірність виявлення цілі в межах робочого сектора.

Таким чином, поєднання вузької діаграми спрямованості в Н-площині та розширеної діаграми в Е-площині забезпечує оптимальний баланс між кутовою роздільною здатністю та повнотою просторового контролю.

Для оцінювання можливостей запропонованої системи використано класичне радіолокаційне рівняння дальності, яке визначається формулою 2:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_{pr} G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{pr.min}}} \quad (2)$$

де P_{pr} – потужність передавача,

G – коефіцієнт підсилення антени (17,7 дБ),

σ – ефективна площа розсіювання цілі,

λ – довжина хвилі,

$P_{pr.min}$ – мінімальна приймальна потужність.

Розрахунки показали, що для БПЛА з ефективною площею розсіювання $0,1$ м² забезпечується дальність виявлення до $2,5$ км, тоді як для малорозмірних цілей з ЕПР $0,01$ м² дальність становить близько $1,4$ км. Отримані результати підтверджують характер залежності $R \sim \sigma^{1/4}$, тобто навіть при істотному зменшенні ЕПР дальність зменшується відносно повільно, що свідчить про достатній енергетичний потенціал системи.

Для підвищення завадостійкості використано фазокодований радіоімпульс із кодом Баркера довжиною $N = 13$. Нормована автокореляційна функція такого сигналу характеризується низьким рівнем бокових пелюсток (близько -11 dB), що зменшує ймовірність хибних спрацьовувань у присутності шумів і завад.

Після проходження сигналу через оптимальний фільтр відбувається імпульсне стиснення. У результаті кореляційної обробки амплітуда головного максимуму зростає приблизно у N разів, покращується співвідношення сигнал/шум та підвищується точність визначення дальності.

IV. ОБГОВОРЕННЯ ТА ВИСНОВКИ

Отримані результати підтверджують, що запропонована архітектура системи радіотехнічного моніторингу з цифровою обробкою та застосуванням фазокодованих сигналів є практично реалізованою для задач виявлення малорозмірних БПЛА на дальностях до $2,5$ км за умови коректного узгодження енергетичного потенціалу, чутливості приймального тракту та параметрів антенної системи. Використання коду Баркера довжиною $N=13$ забезпечує енергетичний вигравш після кореляційної обробки та зменшує вплив шумів і завад, а антена з електронним скануванням підвищує швидкодію та точність просторової селекції.

Подальший розвиток роботи доцільно спрямувати на експериментальну перевірку на реальних сигналах, оцінювання стійкості до активних завад і розширення функцій класифікації у межах SDR-підходу.

Запропонований підхід може слугувати основою для створення адаптивних інтелектуальних систем моніторингу повітряного простору з можливістю масштабування, інтеграції в мережеві комплекси безпеки та застосування в умовах підвищеної радіоелектронної протидії.

ДЖЕРЕЛА

1. Boiko, J., & Karpova, L. (2023). Increasing efficiency in the correlation processing of information signals for radar. In Proceedings of Fourth International Conference on Communication, Computing and Electronics Systems (Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 977, pp. 549–569). Springer.
2. Boiko, J., Polikarovskiykh, O., Tkachuk, V., Yehoshyna, H., & Karpova, L. (2023). Design concepts for mobile computing direction finding systems. In Mobile Computing and Sustainable Informatics (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Vol. 166, pp. 89–107). Springer.
3. Boiko, J., Pyatin, I., Eromenko, O., & Karpova, L. (2025). Optimization of Cartesian feedback loops for wideband SDR transmitters in 5G mobile networks. *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (100), 27–42.
4. Polikarovskiykh, O. I., Kovtun, L. O., Karpova, L. V., Gula, I. V., & Melnychuk, V. M. (2019). Using of residual number systems as mathematical basis for software defined radio. *Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, (76), 21–28.
5. Sumithra, M. G., & Suriya, M. (2024). Improved spectrum prediction model for cognitive radio networks using hybrid deep learning technique. *Internat.Journal of Intelligent Networks*, 5, 286–292.



ВІТАЛІЙ АНДРІЙЧУК

Здобувач ступеню бакалавра з електронних комунікацій та радіотехніки, група ЕКРс-23-1, у Хмельницькому національному університеті.

E-mail: boiko_julius@ukr.net

Наукові інтереси: радіотехнічні системи спостереження та виявлення, обробка сигналів у складній завадовій обстановці, цифрові методи аналізу спектра, програмно-конфігуровані радіосистеми, підвищення завадостійкості телекомунікаційних каналів.



ЮЛІЙ БОЙКО

д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.

ORCID:0000-0003-0603-7827

E-mail: boykoym@khmnu.edu.ua

Наукові інтереси: обробка сигналів, синхронізація, телекомунікації, кодування, електронні компоненти, діагностика, інформаційні системи.



ЛЕСЯ КАРПОВА

к.т.н., доцент, доцент кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, Хмельницький національний університет.

ORCID ID: 0000-0001-5015-2107

E-mail: rtlesya@gmail.com

Наукові інтереси: телекомунікації, електронні компоненти, проектування та оптимізація радіотехнічних систем, бездротова передача даних, антенні системи.