УДК 621.396.96

Г. Г. Камалтинов, В. О. Тютюнник

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТАКТИЧНИХ МАЛОГАБАРИТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. *У доповіді розглянути вимоги до радіолокаційних засобів виявлення (РЛЗ) безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які приводять до необхідності створення спеціалізованих радіолокаторів виявлення БпЛА з використанням сучасних технологій. Описані існуючі технології, які вже застосовуються під час розробки у світі. Обговорюються новітні технології побудови означеного класу.*

Ключові слова*: тактичні малогабаритні радіолокаційні станції, безпілотні літальні апарати, тенденції розвитку. сучасні технології.*

Annotation.*The report looks at the requirements for radar detection systems (RDS) for unmanned aerial vehicles (UAVs), which lead to the need to create specialised UAV detection radars using modern technologies. It describes existing technologies that are already used in development around the world. It also discusses the latest technologies for building this kind of system.*

Keywords: *tactical small-sized radar stations, unmanned aerial vehicles, development trends, modern technologies.*

В доповіді розглядаються вимоги до радіолокаційних засобів виявлення безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які приводять до необхідності створення спеціалізованих малогабаритних радіолокаторів виявлення БпЛА з використанням сучасних технологій.

Наявні сьогодні на озброєнні традиційні РЛС розвідки повітряного простору практично нездатні проводити ефективне виявлення малошвидкісних повітряних цілей типу БпЛА, особливо малогабаритних та FPV- дронів. Для вирішення цього завдання необхідно виконати цілу низку суперечливих вимог. Це приводить до необхідності створювати спеціалізовані високоефективні, портативні та недорогі РЛС виявлення БпЛА (Counter Unmanned Aircraft System (C-UAS) та можливість їх розгортання на непідготовлених позиціях. Сьогодні гостро затребуваними на ринку є портативні дво- або трикоординатні РЛС, спеціально призначені для виявлення БпЛА [1]. Склад та облік радіолокаційних станцій виявлення БпЛА визначається принципами їх дії, цільовим призначенням та специфікою завдань, які мають вирішувати РЛС, а також технологічним рівнем, досягнутим в областях матеріалознавства, електротехніки, радіотехніки та радіоелектроніки на момент розроблення РЛС, але вирішальним є тактичне призначення, яке суттєве впливає на параметри зони огляду, точності характеристики та розрізнювальні спроможності за координатами та таким чином визначає розміри антенної системи і діапазон роботи. Від принципу роботи залежить ближня межа зони виявлення, можливості розпізнавання типів цілей та нижні мінімальні швидкості виявлення і супроводження цілей.

На цей час радіолокаційні засоби (РЛЗ) для виявлення БпЛА розробляють багато світових розробників радіолокаційних станцій, але сучасними технологіями, які дозволяють досягнути необхідного результатами володіють лише обмежено коло виробників. Порівняльні параметри деяких відомих РЛС наведені у табл.1 (за даними від Toris Square [2]).

Для побудови РЛС виявлення БпЛА, поряд з традиційними технологіями радіолокації, необхідно використовувати сучасні технології та нові розробки у галузях нових матеріалів, обробки та генерування сигналів. Україна є однією з десятка країн, які спроможні розробляти самостійно радіолокаційні засоби різного призначення, при цьому у розробці спеціалізованих РЛС виявлення БпЛА у нашої країни немає конкретних результатів через відсутність відповідних технологій, деякі з них можна віднести до критичних, а саме:

– випромінювання та обробки багаточастотних (MFCW) та квазібезперервних частотно-модульованих зондуючих (Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW) та надширокосмугових сигналів;

– технологій цифрових активних антенних решіток (ЦАР) у X та K-діапазонах роботи РЛС (10, 16 та 24 ГГц);

– використання готових радарних рішень у інтегральному виконанні (“радар на чипе”): приймопередавачів, синтезаторів сигналів, радарних процесорів тощо. Найбільш опрацьовані та готові рішення щодо побудови РЛС існують до 6 ГГц. Окремі рішення пропонуються у X (8-10 ГГц) та K діапазонах (24-25 ГГц). Спеціалісти Analog Device розробили та запропонували багатоканальну платформу розробки RF-to-Bits Quad-MxFE, яка забезпечує швидке створення цифрових фазованих антенних решіток [1, 3].;

– застосування для побудови РЛС виявлення БпЛА широко освоєною на світовому ринку технологією автомобільних радарних сенсорів;

– побудова антенних решіток з використанням технології метаматеріалів – створення нових типів антенних решіток - MESA (metamaterials electronically scanned array). Технологія метаматеріалів дозволяє суттєве знизити розміри (до 5 раз) та вагу антен. Метаматеріальні радари з електронно-сканованою решіткою (MESA) мають значні переваги в розмірах, вазі, потужності і вартості порівняно з традиційними радарами ESA і можуть бути виготовлені за допомогою стандартних технологій виготовлення і складання друкованих плат. Такою технологією панують лише обмежена кількість фірм: Echodyne Corp, США, ETRI и Hanwha Systems Co, Південна Корея, SKYFEND Technology Co., Ltd, КНР, Radar Reimagined, США. На рис.1 наведений вигляд РЛС компанії Echodyne з надзвичайно малою товщиною;

– значне зменшення маси і габаритів РЛС, втілення технологій SWaP — абревіатура визначає Size, Weight, and Power, (розмір, вага, потужність і вартість);

– застосування SDR-технологій (Software Define Radio – програмне визначення радіо);

– забезпечення процедур вимірювання поточної ефективної поверхні розсіяння цілей - RCS (радіолокаційний поперечний переріз у дБ по відношення до 1 м^2) під час їх відстеження;

– розпізнавання та класифікації БпЛА на основі побудови дальністно-доплерівських портретів та технологій штучного інтелекту і нейронних мереж, наприклад, Deep Neural Network (глибока нейронна мережа - DNN);

- інтеграція з іншими системами спостереження, що забезпечується шляхом автоматичної видачі даних споживачам у нових форматах і протоколах обміну інформацією,

Таблиця 1 - Порівняльні параметри дяких РЛС виявлення БпЛА

Виробник, тип РЛС	Toris Square, Elijah2	RADA, RPS-42	Blighter, A800-3D	LOOP, LR500	ETRI, LADD	Beechwood, R8SS-3D
Зображення						
Діапазон	X	S	Ku	X	Ku	X
Тип випромінювання	FMCW	Pulse-Doppler	FMCW	Pulse-Doppler	FMCW	Pulse-Doppler
Дальність виявлення MicroUAS, км	13	5	3	3	3	1,2
Зона огляду: за азимутом, град; за кутом місця, град	360 -30…90	90 90	90 40	360 55	100 20	360 40

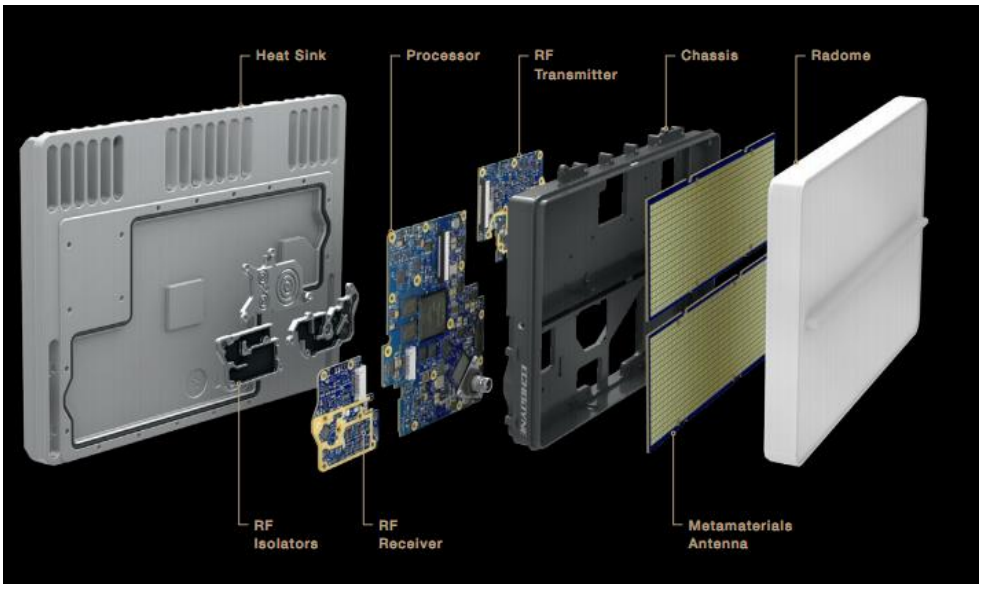


Рисунок 1. - РЛС MESA від Echodyne

а саме: у форматі протоколу ASTERIX – про параметри руху цілей та їх виявлений тип; у форматі “SAPIENT” (стандарт НАТО для систем боротьби з безпілотниками) через інтерфейс Ethernet; коваріаційної матриці (Covariance Matrix) стану вектора місцеположення, за допомогою якої можлива оцінка області невизначеності для мультисенсорного пристрою відстеження; стану конфігурації системи обробки інформації.

Використання сучасних технологій дозволить суттєве зменшити обсяг досліджень для створення нових РЛС виявлення БпЛА та знизити їх вартість.

Список використаних джерел:

1. Камалтинов Г., Колеснік О., Тютюнник В., Тах’ян К. Аналіз можливостей використання новітніх технологій для побудови радіолокаційних засобів виявлення безпілотних літальних апаратів. *Науковий збірник «InterConf+».* 2025. № 249. С. 618–633. DOI: https://doi.org/10.51582/ interconf. 2025.249.

2. Сайт компанії Toris Square: www.torissquare.com.

3. Камалтинов Г.Г., Тютюнник В.О., Тах’ян К.А. Тенденції та перспективи розвитку малогабаритних радіолокаційних станцій. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 2024. № 1(79). С.44-51. DOI: https:// doi.org/10.30748/zhups.2024.79.07.

Камалтинов Геннадій Григорович – *кандидат технічних наук старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: kamgg@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1449-5230*

Тютюнник Владислав Олександрович – *кандидат технічних наук старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: tvlad1970@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0002-7766-3246*

Gennadij Kamaltynov – *Candidate of Technical Sciences Senior Research Lead Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumskaya St. 77/79, e-mail: kamgg@i.ua, ORCID https://orcid.org/0000-0002-1449-5230*

Vladyslav Tiutiunnyk – *Candidate of Technical Sciences Senior Research Head of the research department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumskaya St. 77/79, e-mail: tvlad1970@gmail.com,ORCID https://orcid.org/0000-0002-7766-3246*