

Камалтинов Г. Г., Тютюнник В. О., Тах'ян К. А.

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. Доповідь присвячена аналізу світового досвіду створення радіолокаційних засобів (РЛЗ) виявлення безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Наводиться перелік відомих РЛЗ та їх розробників. Розглядаються основні тенденції розвитку РЛЗ виявлення БпЛА. Обговорюються новітні технології побудови РЛЗ означеного класу.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, безпілотні літальні апарати, тенденції розвитку.

Annotation. The report is devoted to the analysis of global experience in the creation of radar systems for detecting unmanned aerial vehicles (UAVs). A list of known radar systems and their developers is provided. The main trends in the development of radar systems for detecting UAVs are considered. The latest technologies for building radar systems of this class are discussed.

Keywords: radar systems, unmanned aerial vehicles, development trends.

На цей час радіолокаційні засоби для виявлення БпЛА розробляють багато світових розробників радіолокаційних станцій, основні відомі з них наведені у табл.1.

З урахуванням розв'язуваних завдань і умов застосування на цей час існують різні типи РЛС виявлення БпЛА, які можуть класифікуватися за такими ознаками:

- мобільність: стаціонарні для радіолокаційного захисту від дронів постійних об'єктів, мобільні на транспортних платформах або переносні;
- розміщення: наземні, аеростатні, авіаційні, корабельні;
- принцип роботи: імпульсні, безперервного випромінювання, когерентно-імпульсні або із синтезованою апертурою;
- діапазон хвиль, якій використовується або багато діапазонні;
- за тактичним призначенням: РЛС систем індивідуального захисту від дронів, РЛС систем колективного захисту, засоби охорони периметрів та аеродромів, спеціалізовані РЛС виявлення та наведення перехоплювачів; засоби радіолокаційної розвідки мобільних вогневих груп та комплексів радіоелектронної боротьби з БпЛА, багатофункціональні РЛС.

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 суттєво впливає на параметри зони огляду, точності характеристики та розрізнявальні спроможності за координатами та таким чином визначає розміри антенної системи і діапазон роботи.

Як правило, порівняння різних засобів виявлення БпЛА здійснюють за наступними параметрами:

- діапазоном хвиль роботи;
- типом випромінювання;
- дальністю виявлення мікроБпЛА (MicroUAS) с ЕПР=0,01м²;
- параметрами зони огляду за азимутом та кутом місця.

Дальність виявлення мікроБпЛА (MicroUAS) с ЕПР=0,01м² складає від 2 до 12 км. Максимальна (інструментальна) дальність у різних зразків може бути від 5 до 40 км. Спеціалізовані РЛС виявлення БпЛА розвиваються у основному за двома технологіями побудови:

- з випромінюванням безперервних частотно-модульованих сигналів (Frequency-Modulated Continuous Wave, FMCW) з рознесеними приймальною та передаючою антенами, найчастіше використовуються у якості зондуючих безперервні трикутні ЛЧМ сигнали;
- імпульсно-доплерівські (Pulse- Doppler) РЛС із суміщеними антенними системами.

За публікаціями останніх років можна визначити такі тенденції розвитку РЛЗ виявлення БпЛА:

- 1) значне розширення частотних діапазонів, які використовують РЛС;
- 2) досягнення нових функціональних можливостей РЛС. Побудова на основі базового зразка ряду РЛС із різною потужністю випромінювання та різним набором функцій;
- 3) пошук нових варіантів та удосконалення існуючих конструкції РЛС, використання передових технологій, покращення експлуатаційних характеристик;
- 4) втілення нових типів сигналів, методів та алгоритмів обробки сигналів;

Таблиця 1. Основні розробники РЛС виявлення БпЛА

Держава	Фірма-розробник	Тип РЛС
В. Британія	Blighter Surveillance Systems	Blighter Series B400, Blighter Series A800
Німеччина	HENSOLDT	Spexer 2000 Mk 3
	Thales	Ground Observer 12
США	Leidos	GA 3360GA4120 GA9000 GA1360 GA7360
	Fortem Technologies.	Trueview™ R20, Trueview™ R30
	Telephonics Corporation	ARSS
	Echodyne	MESA EchoShield, EchoGuard, EchoFlight
	Beechwood	R8SS-3D
	Lockheed Martin	P-STAR
Туреччина	Meteksan	Retinar PTR, Retinar FELIX (I/D), Retinar GSR, Retinar FAR-AD
	Aselsan	ACAR
Ізраїль	ELTA Systems Ltd	ELM- 2105, ELM-2026, ELM-2112 V8, ELM-2138, ELM-2180
	Elbit Systems	DAiR, ELM-2135
	RADA Electronics Industries	RPS-42, RPS-82
	GETS Systems	HLS GSR
Німеччина	Thales ATM GmbH	Master , Searchmaster
Франція	THOMSON-CSF	Horizon
Польща	<u>Argustecn</u>	AGT-3D-RD6000KU, AGT-2D-RD2000STS, AGT-2D-RD800ES AGT-2D-RD1000STS, AGT -2D-RD600STS, AGT-3D-RD5000X
	Advanced Protection Systems SA	FIELDctrl Advance 3D MIMO Radar FIELDctrl Range 3D MIMO Radar FIELDctrl Runway 3D MIMO Radar FIELDctrl Ultra 3D MIMO Radar
Нідерланди	Robin Radar Systems	Robin Radar 3D Flex IRIS Drone Radar, TMARS
Італія	Leonardo	TMMR Lyra 10
Швеція	Ericsson Microwave Systems	HARD 3D
КНР	Nanoradar	SAC263-800
	Hangzhou Fanyue Industrial Co	X-Band 1700
Південна Корея	LOOP	LR500
	Toris Square	Elijah2
	ETRI и Hanwha Systems Co	LADD
Росія	НПЦ ЭЛВИС	ЕНОТ
	ГК СОЗ	Репейник
	Системы защиты"	ОД-718
	Радарные технологии	РЛС-БПЛА PT
Індія	Bharat Electronics	AMAR, DDR
Іспанія	Indra	SkyFender ADR

5) комплексування РЛС з оптичними системами, засобами радіотехнічної розвідки та активними системами фізичного знищення БпЛА.

Для побудови РЛЗ виявлення БпЛА використовуються різні діапазони хвиль. Але застосування L (P-STAR і ELM- 2016NG) та С (TMMR, РЛС-БПЛА РТ) діапазонів скоріше є винятком. В ізраїльських РЛЗ традиційно використовується S діапазон, але більшість інших РЛЗ будується у Х (8-10 ГГц) і К (15-17 ГГц, 23-24 ГГц) діапазонах хвиль для зниження розмірів антенних систем. У всіх з них використовуються технології цифрових фазованих активних решіток. Для огляду простору застосовується механічне обертання антенної системи з одномірною антенною решіткою або секторний огляд двомірною решіткою. РЛС можуть розміщуватися як на тринозі, так і на рухомих шасі.

Для побудови РЛС виявлення БпЛА використовуються сучасні технології та нові розробки у галузях нових матеріалів, обробки та генерування сигналів:

- перехід до безперервних та квазібезперервних частотно-модульованих сигналів, випромінювання багаточастотних зондуючих сигналів і надширокопasmових сигналів;
- використання готових радарних рішень у інтегральному виконанні (“радар на чипе”) – прийомопередавачів, синтезаторів сигналів, радарних процесорів тощо;
- застосування SDR-технологій (Software Define Radio – програмне визначення радіо);
- побудова антенних решіток з використанням технологій метаматеріалів;
- застосування технологій автомобільних радарних сенсорів і відповідних технологій;
- використання технології цифрових антенних решіток (ЦАР) з круговим електронним скануванням простору;
- значне зменшення маси і габаритів РЛС, втілення технологій SWaP — аббревіатура визначає Size, Weight, and Power, (розмір, вага, потужність і вартість);
- обладнання РЛС приймачами системи ADS-B;
- забезпечення процедур вимірювання поточної ефективної поверхні розсіювання цілей;
- забезпечення автоматичної видачі даних споживачам у нових форматах і протоколах обміну інформацією.

Камалтинов Геннадій Григорович – кандидат технічних наук, СМС, 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, СМС, начальник управління наукового центру 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>

Таш'ян Кристина Альбертівна – старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, вул. Сумська 77/79, e-mail: madi27@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>

Gennadij Grigjrovich Kamaltynov – PhD in Engineering Associate Professor Leading Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University Kharkiv, Symyska St., 77/79, e-mail: kamgg@i.ua, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Vladyslav Oleksandrovich Tiutiunnyk – PhD in Engineering Senior Researcher Head of Scientific Research Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, , Symyska St., 77/79, e-mail: tvlad1970@gmail.com , ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Kristina Albertivna Tahyan – Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Symyska St., 77/79, e-mail: madi27@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0087-9601>